Populäre
Astronomie

für

Alle, welche ohne mathematische Vorkenntniß über die Einrichtung des Weltgebäudes theoretisch und praktisch vollkommen belehrt sein wollen.

Von

G. v. Pontecoulant,

Mitglied der k. Societät der Wissenschaften zu London, der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Palermo 2c.

Aus dem Französischen

von

F. Nork.

In vier Theilen,

mit einer Menge von Abbildungen.

Vierter Theil.

Mit Tafel VI.

Herausgegeben von der „Gesellschaft zur Verbreitung guter und wohlfeiler Bücher."

Stuttgart, 1846.

Druck und Verlag von Scheible, Rieger & Sattler.

(Preis pro Theil 18 kr. oder 6 Ngr.)

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Sechstes Kapitel.

Ungleichheiten in der Bewegung der Satelliten des Jupiter, Saturn und Uranus.

Bemerkenswerther Zusammenhang in den mittlern Bewegungen der drei ersten Jupitermonde. — Verwandtschaftliches zwischen den mittlern siderischen und synodischen Längen. — Diese drei Satelliten verfinstern sich niemals gleichzeitig. — Massen der Jupitermonde. — Abplattung des Planeten. — Satelliten und Ring des Saturn. — Satelliten des Uranus.

203. Die Jupitermonde geben uns, mit ihrem Planeten ein besonderes System bildend, im kleinern Maßstab das Bild jener Wechselungen, die, nur mit größerer Langsamkeit, im Planeten- und Sonnensystem sich wiederholen. Die Bewegungen der Jupitermonde sind sehr merkbaren periodischen Ungleichheiten unterworfen, welche in die elliptischen Bewegungen derselben durch ihr reciprokes Einwirken auf einander eingeführt sind. Insbesondere sind sie bei den drei erstern Satelliten merklich. Die beträchtlichern sind eine Folge der Verwandtschaft, welche zwischen den Umlaufszeiten dieser drei Gestirne existirt. Diese Umlaufszeiten sind unter sich fast gleich wie die Zahlen 1, 2 und 4, was zwischen ihren mittlern Bewegungen das Art. 117 angedeutete Verhältniß hervorbringt, demzufolge die mittlere Bewegung des ersten Satelliten, zweimal mehr jene des dritten, ziemlich gleich ist dreimal jener des zweiten. Wirklich hat man

$1 + {}^2/_4 = {}^3/_2$. Alle diese Ungleichheiten, deren Perioden unter sich differiren, verwandeln sich in den Ellipsen in eine einzige, deren Periode ist 437,699 T., ein Intervall, welches die drei Satelliten zu derselben Configuration zurückführt. Die Beobachtung hat ferner eine bemerkenswerthe Verwandtschaft zwischen den mittlern Längen der drei erstern Jupitermonde gezeigt; sie besteht darin, daß die mittlere siderische Länge des ersten Satelliten, dreimal weniger jene des zweiten, zweimal mehr jene des dritten, nie von zwei geraden Winkeln um mehr als eine unmerkliche Größe differirte.

Oben haben wir gesehen, daß die Verwandtschaftsverhältnisse, welche zwischen den mittlern siderischen Bewegungen und mittlern siderischen Längen, von einem bestimmten Anfang an gezählt, bestehen, in Beziehung zu den mittlern synodischen Bewegungen und Längen, d. h. zur Sonne in Beziehung gebracht, gleichfalls statt haben. Daraus schloß man, daß die drei Satelliten nie zugleich verdunkelt sein können, folglich immer einer am Horizonte des Planeten die Jupiternächte erleuchtet. In diesem Falle würden die synodischen Längen der drei Satelliten jede 180° gleich sein, und die Verwandtschaft unter ihnen wäre nicht so ganz genügend. *

* Wenn v' die synodische Länge des ersten Satelliten oder seine rechtwinkelige Distanz von der Sonne, vom Mittelpunkt des Jupiter aus gesehen ist, v'' jene des zweiten, und v''' jene des dritten, so wird man haben: $v' + 2v''' - 3v'' = 180°$. Allein für den Fall einer gleichzeitigen Eclipse aller drei Satelliten würde die Länge von jeder v' v'' v''' gleich sein 180°, man würde folglich haben: $v' + 2v''' - 3v'' = 0$, was gegen die Annahme ist. Bei gleichzeitigen Verfinsterungen des zweiten und dritten würde man haben: $v'' = v''' = 180°$, folglich $v' = 360°$; die Länge des erstern Satelliten ist also dann Null, d. h. anstatt gleichzeitig wie die zwei andern Satelliten verfinstert zu sein, ist der erste mit Jupiter in Conjunktion, wenn der zweite und dritte im Schatten

Die Beobachtung zeigt, daß die Elemente der Satellitenbahnen ebenso der Veränderung unterworfen sind, wie die der Planetenbahnen. Ebenso haben ihre Apsiden eine ähnliche Bewegung wie jene der Perihelien der Planeten. Ihre Knoten und Neigungen gegen die Bahn des Planeten variiren gleichmäßig; vorausgesetzt, daß die Ebene der Bahn des ersten Satelliten gegen den Aequator des Jupiter oscillirt, und daß die Bahnen der drei andern Satelliten gegen die Ebenen oscilliren, welche mit dem Aequator des Jupiier constante Winkel bilden. Diese Ebenen sind zwischen dem Aequator und der Bahn des Jupiter, und gehen stets durch den gemeinschaftlichen Einschnitt der zwei Ebenen. Die Knoten der Bahnen haben gegen diese Ebenen eine rückläufige Bewegung, deren Periode wechselt, sie beträgt 30 Jahre für den zweiten Satelliten, 142 Jahre für den dritten und 531 Jahre für den vierten. Endlich sind auch die Bahnen der Satelliten vom Jupiter-Aequator mit fortgezogen, deren Knoten eine rückläufige Bewegung gegen die Ebene der Bahn des Planeten haben.

204. Da die Ursache dieser Ungleichheiten der Satelliten bekannt ist, so konnte man sie dazu verwenden, ihre Massen zu bestimmen, was wegen ihrer ungemeinen Kleinheit durch direkte Messungen unmöglich ist. Indem man mit Hülfe der Theorie die Coefficienten einer jeden Ungleichheit formirte, und sie ihrem durch die Beobachtung gegebenen Werthe gleichsetzte, schloß man auf jenen der Masse des Satelliten, oder mindestens auf das Verhältniß dieser Masse zu jener des Planeten. Man fand also, nach den von der Beobachtung verschafften zuverlässigsten Daten:

sind; er ist im Gegentheil stets verfinstert, wenn die zwei andern in Conjunction sind, denn dann hat man $v'' = v''' = 0$, folglich $v' = 180^\circ$.

1. Satellit . .	$^1/_{57709}$	Satellitenmassen, die Jupitermasse als Einheit genommen.
2. Satellit . .	$^1/_{43037}$	
3. Satellit . .	$^1/_{11299}$	
4. Satellit . .	$^1/_{23442}$	

Ein nicht minder interessantes Resultat verschafften diese Ungleichheiten der Satelliten, indem sie die Figur des Jupiter als sphäroidisch erwiesen. In der That, der große Einfluß, den seine Ellipticität auf die Bewegungen der Knoten ausübt, gestattete, ihn sehr genau durch eine von der Beobachtung gegebene Vergleichung dieser Bewegung mit der hierauf bezüglichen analytischen Formel zu bestimmen. Man fand sie also der Art, daß das Verhältniß der Rotationsaxe des Jupiter zum Durchmesser seines Aequators sei 0,9286, was wenig von dem Werthe dieses durch Messung der beiden Axen des Planeten gegebenen Verhältnisses differirt.

Die Tafeln der Jupitermonde, welche nach den Formeln der Theorie und den von der Beobachtung hergeleiteten Elementen ihrer elliptischen Bewegungen berechnet sind, stellen die beobachteten Eklipsen mit der wünschenswerthesten Genauigkeit dar. Die Vervollkommnung dieser Tafeln war auch wegen ihrer Brauchbarkeit für die Bestimmung der geographischen Längen von großer Wichtigkeit.

205. Die Saturnusmonde sind dermaßen schwer zu beobachten, daß wir nur mit Mühe genaue Daten über einige von ihren Elementen uns verschaffen konnten. Die Mathematiker hielten es bis jetzt für ganz unnütz, sich mit ihren Störungen zu befassen.

Wir haben (Art. 100) gesehen, daß Saturn von einem breiten Ringe umgeben, dessen Dicke aber sehr unbeträchtlich ist, und welcher ziemlich 30° gegen die Ebene seiner Bahn geneigt ist. Dieser Ring theilt sich in zwei concentrische, die durch einen sehr kleinen Zwischenraum von einander getrennt sind.

Würden diese Ringe allein durch die Cohäsionskraft ihrer Theile in einer Schwebung um den Planeten erhalten, so müßte man befürchten, daß durch fortwährende Einwirkung des Planeten sie sich endlich trennen müßten. Die Bruchstücke des auf diese Art gebrochenen Ringes würden sich gegen den Planeten stürzen, oder als besondere Satelliten um ihn kreisen. Da dies nicht vorgekommen ist, so mußte man denken, daß die Ringe durch einen besondern Mechanismus, welcher von den Gesetzen des Gleichgewichts flüssiger Dinge abhängt, um ihren Planeten sich erhielten. Diese Frage suchte Maupertuis zuerst ihrer Lösung entgegen zu bringen, Laplace beschäftigte sich mit ihr in seiner Mechanik des Himmels. Er zeigte, daß der für flüssig gehaltene Ring sich um den Saturn, vermöge der wechselseitigen Anziehungskraft seiner Theile und ihrer Schwere gegen den Planeten, in Verbindung mit einer Rotationsbewegung um eine Axe, welche perpendikulär von der Ebene durch den Mittelpunkt des Saturn hindurchgeht, sich im Gleichgewicht erhalten könne. Die aus dieser Rotationsbewegung hervorgehende Centrifugalkraft erhält das Streben der Theile gegen den Planeten in stetem Balanciren und sichert ihnen ihren Bestand.

Was die Umlaufszeit des Ringes anbetrifft, so kann sie von jener eines Satelliten schwerlich verschieden sein, dessen Distanz vom Mittelpunkt des Saturn der mittlern Distanz des obern und des untern Randes des Ringes an demselben Punkte gleich wäre. Auf diese Art fand Laplace seine Umlaufszeit $^5/_{12}$ Tag ungefähr, was seitdem auch von Herschel bestätigt worden ist, welcher die genaue Umlaufszeit des Ringes auf $10^1/_2$ St. angab, also um 16″ länger als die Umlaufszeit des Planeten. Ebenso hat die Theorie die Beweglichkeit des Saturnrings und seine Umdrehungszeit, ehe sie noch

durch die Beobachtung gekannt waren, schon entdeckt gehabt.

206. Die Uranusmonde sind noch weniger bekannt als die Saturnsmonde; alles, was man bis jetzt von ihnen weiß, besteht, nach den Beobachtungen Herschels, darin, daß sie sich in einer Ebene bewegen, welche beinahe senkrecht von jener des Planeten ist. Die Kleinheit dieser Gestirne und ihre Entfernung lassen uns wenig hoffen, jemals ausführlichere Kenntniß von ihnen zu erlangen, wenn nicht etwa eine unerwartete Vervollkommnung der Beobachtungsmittel die Forschung unterstützen würde.

Siebentes Kapitel.

Störungen der elliptischen Bewegung der Kometen.

Wie die Veränderungen eines jeden Elementes der elliptischen Bahn eines Kometen, welcher durch die Attraktion des Planeten, an welchem er vorbeistreift, gestört worden ist, sich berechnen lassen. — Vorausbestimmung seiner Wiederkunftsperioden. — Anwendung an den periodischen Kometen von 1759, 1819 und 1826. — Merkwürdiges Verschwinden des Kometen von 1769 durch Einwirkung der Planeten. — Betrachtungen über die Massen der Kometen.

207. Wie die Planeten sind auch die Kometen Ungleichheiten unterworfen, welche ihre elliptischen Bewegungen stören, und insbesondere in ihren Umlaufszeiten bemerkbar sind. Die Bestimmung dieser Störungen ist ein wichtiges Problem der Astronomie, weil dieses allein uns in den Stand setzt, den Lauf dieser Gestirne zu verfolgen, wenn sie in den obern Theil ihrer Bahnen angelangt sind, und sodann präcis den Zeitpunkt ihrer Wiederkehr zum Perihelium voraus zu bestimmen. Die Beobachtung genügt hier, um alle Elemente der elliptischen Bewegung der Planeten und Kometen voraus zu bestimmen; man könnte selbst durch das aufmerksame Studium des Laufes eines Planeten alle Ungleichheiten, die er erfährt, und welche ihn unbedeutend von den Gesetzen der Bewegung in der Ellipse abweichen lassen, wieder erkennen; da aber die Ko-

meten nur in einem kleinen Theile ihrer Bahn für uns sichtbar sind, so wäre es unmöglich, durch die Beobachtung allein die Störungen, welche sie in solchen Entfernungen eingehen, wohin wir ihnen nur mit dem Gedanken folgen können, zu bestimmen. Diese Aufgabe gehört also zu jenen, die nur die Theorie zu erörtern vermag. Versuchen wir nun zu zeigen, wie die Mathematiker dieselbe zu lösen suchten.

Die Untersuchung der planetarischen Ungleichheiten ist durch die Kleinheit der Excentricitäten ihrer Bahnen, die sich nur unbedeutend von der Kreisform entfernen, und wegen ihrer schwachen Neigung gegen die Ekliptik, sehr erleichtert. Nicht so verhält es sich mit den Kometen, deren Excentricitäten nicht in eine bestimmte Grenze eingeschlossen sind, und deren Bahnen von der Null bis zum geraden Winkel gegen die Ekliptik geneigt sein können. Die in der Theorie der Planeten gewöhnlich angewandten Approximationsmethoden können bei den Kometen nicht angewandt werden, und man ist, um ihre Störungen zu bestimmen, genöthigt, ein besonderes Verfahren anzuwenden. Das einfachste ist, welches in der Voraussetzung besteht, daß die Kometen, durch die Anziehungskraft der Planeten, an denen sie vorbeistreifen, gestört, auch den Gesetzen der elliptischen Bewegung gehorchen, daß aber die Elemente ihrer Bahnen, anstatt constant zu sein, wie sie es sein würden, wenn diese Gestirne nur der Einwirkung der Sonne ausgesetzt wären, vermöge der sekundären Kräfte, die sie beleben, in unmerklichen Abstufungen changiren. Diese Hypothese ist übrigens vollkommen conform mit der Beobachtung, welche zeigt, daß die Elemente der Kometen, deren Wiederkehr gekannt ist, nicht constant sind, und wie die Dauer ihrer Perioden bei jeder Umlaufszeit variiren.

Um die Veränderungen der Elemente der elliptischen Bewegung eines Kometen bestimmen zu können, theilt man seine Bahn in Theile, die klein genug sind, um annehmen zu können, daß die störende Kraft während der Zeit, die der Komet um die Bahn zu durchlaufen bedarf, constant sei, und höchstens nur von einem Theile der Curve zum andern variire. Nun berechnet sich leicht die Veränderung, welche jedes Element der Bahn während dieser Zeit eingeht, und rechnet man die Summe dieser partiellen Abweichungen zusammen, oder vereinigt man sie durch die Formeln, welche die Mathematiker bei ihren Methoden, „mechanische Quadraturen" genannt, anwenden, so bildet man die totale Abweichung, welche dieses Element erfährt. Man begreift, daß, wenn die Bahn successiv in eine große Anzahl von Theilen zertheilt wird, man die größte Präcision erzielen kann; allein die Rechnungen, welche diese Methode erfordert, sind sehr schwierig, zumal wenn es sich um einen Kometen von langer Umlaufszeit handelt, wie jener von 1759. *

208. Clairaut hatte zuerst den Versuch gemacht, durch genaue Rechnungen die Wiederkehr eines Kometen zu bestimmen. Er wandte auf den Kometen von 1682 die Formeln an, die ihm zur Auflösung des Problems von drei Körpern (vergl. Art. 193)

* „Um diese Störungen zu bestimmen, wäre eine Methode zu wünschen, deren numerische Anwendung einfacher wäre, allein wegen der Natur der Schwierigkeiten, welche diese Frage darbietet, scheint es mir zweifelhaft, daß man dahin gelangen werde. Wahrscheinlich wird die Geduld des Rechners noch eine gute Zeit hin den Unvollkommenheiten der Analyse nachhelfen müssen." (**Theorie analytique du Systeme du Monde II. pag. 85.**) Dies sagte ich vor 10 Jahren. Seitdem wurden die größten Anstrengungen zur Uebersteigung jener Schwierigkeiten gemacht, welche wir in der Berechnung der Störungen der Kometen und teleskopischen Planeten so eben bezeichneten, allein diese Anstrengungen scheinen meine Voraussagungen eher zu bestätigen als zu compromittiren.

verholfen hatten. Die Wiederkehr dieses Kometen wurde, nach Halley, zu Ende 1758 oder zu Anfang 1759 erwartet. Clairaut bestimmte durch zahllose Rechnungen die von dem Kometen in den zwei folgenden Perioden von 1607 bis 1682 und 1682 bis 1759, durch die Einwirkung Jupiters und Saturns erlittenen Störungen. So fand er, daß die eben ablaufende Periode um 432 Tage kürzer als die letztverflossene sein müsse, so daß der Komet am 18. April 1759 wieder ins Perihelium kommen müsse. Der Durchgang hatte am 12. März desselben Jahres statt, d. h. 37 Tage vor der von Clairaut bestimmten Frist. Allein er hatte später seine Rechnungen wieder durchgegangen und jene completirt, welche zu beendigen ihm nicht mehr vergönnt war. Er setzte den Durchgang auf den 4. April fest, so daß der Irrthum in der Vorausbestimmung sich schon auf 23 Tage reducirte; und zweifelsohne würde er der Wahrheit noch näher gekommen sein, wenn er die Saturnmasse so verwendet hätte, wie wir sie gegenwärtig kennen, und die von dem, damals noch nicht entdeckten, Uranus verursachten Störungen in seine Rechnungen mit aufgenommen hätte. Die seit dieser Epoche in die analytischen Methoden eingeführten Vervollkommnungen haben nun einen weit höhern Grad der Präcision erreichen lassen, und die Akademie der Wissenschaften zu Turin setzte auf die Rechnung die Störungen des 1825 wieder erwarteten Kometen einen Preis aus, welcher Damoiseau im Jahre 1819 zuerkannt wurde. Die Akademie der Wissenschaften zu Paris hatte im Jahre 1829 dasselbe Thema dem Concurs ausgesetzt; so wagte es Verf. gegenwärtiger Schrift dieser Aufforderung Folge zu leisten, und der Erfolg krönte seine Bemühungen.

Zuerst berechnete ich die Störungen des Kometen seit seinem Durchgang durchs Perihelium 1682 bis zu seiner Wiederkehr zu demselben Punkt 1759, in-

dem ich auf die Einwirkungen Jupiters, Saturns und des Uranus während dieser Periode Acht hatte, um den Werth der großen Axe und der mittlern Bewegung in dieser letztern Epoche bestimmen zu können. Ich bestimmte sodann die Störungen des Kometen während der folgenden Periode, indem ich gleichzeitig auf die Einwirkungen Jupiters, Saturns, des Uranus und der Erde Rücksicht nahm. Der Komet mußte 1759 nahe genug dem letztern Planeten gekommen sein, um merkliche Störungen zu erleiden. So wurde ich darauf geleitet, seine künftige Wiederkehr zum Perihelium auf den 13. November 1835 festzusetzen; allein seitdem ich die in meinen Rechnungen verwendete Jupitermasse berichtigt hatte, fand ich, daß der Durchgang am 15. November statt haben müsse; der Komet ging durchs Perihelium am 16. November um 9 Uhr 36′ Abends, die Differenz zwischen den Resultaten der Rechnung und der Beobachtung reducirte sich also auf etwa einen Tag*, und das ist für eine Umlaufszeit von 75 Jahren gewiß sehr unbedeutend. Dieses Resultat ist also ein sehr günstiges Zeugniß für die Anwendung der Analyse auf das Weltsystem. Fügen wir noch hinzu, daß die Annäherung der Theorie und der Beobachtung, wozu eine simple Veränderung in der Jupitermasse Anlaß gab, die Nothwendigkeit dieser Korrektion, welcher man in der letzten Zeit den seit Newton angenommenen Werth dieser Masse unterworfen hatte, vollständig zu bestätigen scheint**.

* Damoiseau hatte die Wiederkehr des Kometen auf den 4. Nov. fixirt, die Differenz zwischen der Rechnung und der Beobachtung betrug also 12 Tage. Meine Untersuchungen haben, wie man sieht, sie fast gänzlich schwinden machen. (Man s. üb. diesen Gegenstand Arago's Aufsatz im **Annuaire de 1836** und eine Abhandlung, in welcher ich die Resultate meiner Berechnungen aufgestellt hatte, **Connaissance des temps 1838.**)

** Den von Pound beobachteten Elongationen des vierten Trabanten zufolge, war die von Newton berechnete Jupitermasse $^1/_{1067}$ von der Sonnenmasse, sie ist $^1/_{1048}$ zufolge den von Airy i. J. 1833

209. Die Berechnung der Störungen ist gleichfalls zur Bestimmung der Störungen angewendet worden, welche der Komet von 1819, der eine kurze Periode hat, auf seinem Laufe erfahren mußte, und diese Anwendung verhalf zu einer wichtigen Entdeckung; man hatte bisher geglaubt, daß, um von einigen Differenzen, welche die Resultate der Rechnung und der Beobachtung in den Jahren 1805, 1795 und 1786 ergeben hatten — denn weiter zurück gehen die Beobachtungen dieses Kometen nicht — Rechenschaft geben zu können, sei es unerläßlich, das Vorhandensein einer neuen störenden Kraft zuzugeben, welche mit der Einwirkung der Planeten gemeinschaftlich beiträgt, um die elliptische Bewegung des Kometen in Unordnung zu bringen. Man hatte daher angenommen, daß diese Kraft der Widerstand eines um die Sonne verbreiteten ätherischen Mediums sei. Die Einwirkung dieses Fluidums auf die Planeten ist unmerklich, weil die Beobachtung uns in ihrem Gange keine aus dieser Ursache herzuleitende Ungleichheit anzeigt; bestünde sie aber dennoch, so müßte ihr Einfluß auf die Kometen, wegen der außerordentlichen Feinheit des Stoffes, aus welchem sie bestehen, weit merkbarer sein, wie wir ja auch auf der Oberfläche der Erde den Widerstand der Luft auf minder schwere Körper sich stärker äußern sehen, als auf solche, die von compaktem Stoffe sind. Indeß haben die übereinstimmenden Resultate der Rechnung und der Beobachtung, von 1819 angefangen, seitdem die Elemente dieses Kometen besser gekannt sind, auf den Gedanken geleitet, daß die vorhergehenden Differenzen bloß den Irrthümern der vor 1819 unternommenen Beobachtungen zur Last zu legen sei, denn um jene

beobachteten Elongationen desselben Trabanten. Dieser Werth stimmt mit demjenigen, welcher aus der von Nicolai, Gauß und Enke ꝛc. angestellten Berechnung der Störungen der kleinen Planeten erfolgt.

Zeit wurde die Periodicität des Kometen zuerst bekannt, und seitdem ist er auch mit größerer Sorgfalt beobachtet worden. Endlich scheint auch die Wiederkehr des Kometen von 1759, die fast auf die Minute eintraf, welche die Theorie im Voraus angezeigt hatte, die Frage entschieden zu haben; und die Hypothese von einem Widerstand leistenden Medium kann also bei Seite gelegt werden, bis irgend ein neues Phänomen ihre Anerkennung unerläßlich macht.

210. Die Aenderungen des periodischen Kometen von 1826 und der Zeitpunkt seiner Wiederkehr ins Perihelium im Jahre 1832 sind von Damoiseau bestimmt worden, und die Zuverlässigkeit seiner Rechnung wurde durch den Erfolg bestätigt. Die Wiederkehr ins Perihelium fand im Mai 1839 statt.

211. Wir haben gesehen, daß die Theorie nachwies, wie die Planetenbahnen zu allen Zeiten nur wenig excentrisch und nur mäßig gegen die Ebene der Ekliptik geneigt waren, ganz wie sie es heute noch sind. Das Sonnensystem kann also in diesem Betracht nur nach einer Reihe von Jahrhunderten eine Aenderung erfahren, so daß es eine lange Zeit hindurch im Zustand der Stabilität beharren muß. Diese merkwürdige Eigenthümlichkeit entspringt aus der Einrichtung des Planetensystems selbst, sie ist eine Folge der Kleinheit der Excentricitäten und der Neigungen, und daß alle Planeten in derselben Richtung sich um die Sonne drehen. Aber da diese Bedingungen hinsichtlich der Kometen nicht ganz erfüllt werden, so hindert nichts, daß die Natur ihrer Bahnen selbst sich nicht ändere, wenn sie den Planeten nahe genug gekommen sind, um die Attraktion, welche sie von ihnen erfahren, jener der Sonne das Gegengewicht halten zu lassen.

Schon hat ein Komet, welcher 1770 erschien, und den man 1776 wieder erwartete, das Beispiel

einer solchen Aenderung gegeben. Lexel hatte erkannt, daß dieser Komet während seines Erscheinens einen ellipsenartigen Bogen beschrieb, in welchem die Umlaufszeit mindestens sechs Jahre war. So konnte er mit Sicherheit alle Beobachtungen des Kometen repräsentiren, welcher der Hypothese einer parabolischen Bewegung sich entzog. Ein Gestirn von so kurzer Dauer hätte bei seiner Wiederkehr zum Perihelium sich öfter zeigen müssen, und dennoch war er vor 1770 nicht bemerkt worden, auch ließ er sich seitdem nicht wieder sehen. Um dieses doppelte Phänomen zu erklären, bemerkte Lexel, daß der Komet dem Jupiter in den Jahren 1767 und 1779 nahe genug gekommen, um durch dessen Einwirkung eine Verminderung seiner periheliscchen Distanz der Art zu erfahren, daß er 1770 sichtbar werden konnte, obschon er früherhin unsichtbar geblieben, und daß im Gegentheile 1779 dieselbe Distanz so sehr zugenommen habe, daß der Komet für immer unsichtbar wurde. Die Analyse hat diese Conjektur bewährt, indem sie zeigte, daß, um den vorhergehenden Bedingungen zu genügen, man in den Elementen der Bahn des Kometen im Jahre 1770 nur unbedeutende Aenderungen anzunhmen brauche, welche in denjenigen enthalten sind, die in der Zeit von 1679 bis 1779 die Attraktion der Planeten hervorbringen konnte.

Der Komet von 1770 war schon darum von allen bekannten Kometen der beachtenswertheste, weil kein anderer der Erde so nahe gekommen ist. Sein Einfluß hätte also in der Bewegung der Erde und in ihrer Umlaufszeit merkliche Veränderungen hervorbringen müssen. So z. B. hatte man berechnet, daß wenn die Masse des Kometen jener der Erde gleich angenommen würde, das siderische Jahr um 2 St. 47′ 13″ länger sein müßte. Nun zeigt aber die Beobachtung, daß das siderische Jahr durch die

Einwirkung des Kometen nicht um 2″ länger geworden sei. Folglich ist das Verhältniß der Kometenmasse zur Erdmasse geringer als jenes von 2″ zu 2 St. 47′ 13″, also nur $^1/_{5000}$ der Erde. Dieser Komet hatte im Jahre 1769 das ganze Satellitensystem des Jupiter durchkreuzt, ohne auch nur die geringste abschätzbare Unordnung zu verursachen. Man ist demnach überzeugt, daß die Kometenmassen sehr klein und ihre Einwirkung auf die andern Körper des Systems nur sehr unmerklich sei. Sollte vielleicht jemals ein Komet an einen Planeten oder Satelliten anprallen, so ist sehr wahrscheinlich, daß die Wirkung eine sehr unbedeutende auf die Bewegung dieser Körper wäre.

Ein solches Ereigniß kann im Laufe der Jahrtausende schon manchmal vorgekommen sein, weil aber keine scheinbare Störung in den planetarischen Bewegungen erfolgte, so ist anzunehmen, daß die Kometenmassen zu klein sind, um auf die Constitution des Sonnensystems einen abschätzbaren Einfluß zu äußern. Wir wissen, daß alle Planeten in derselben Richtung von West nach Ost sich um die Sonne drehen, und daß die Gestalt ihrer Bahnen von der Kreisform nur wenig abweicht. Es ist also wahrscheinlich, daß an diesen Phänomenen gewisse Umstände die Ursache sind, welche bei der Bildung des Planetensystems vorwalteten, und seit dem Anfang der Zeiten in Kraft geblieben sind. Das Anprallen der Kometen hat keine Veränderung hervorgebracht, die doch nicht ausgeblieben wäre, wenn die Masse der Kometen sich der Masse der Planeten oder auch nur der Satelliten vergleichen ließe. Es gibt aber in der Astronomie noch zwei andere Phänomene, die dazu dienen können, unsere Kometenfurcht verschwinden zu machen. Man weiß, daß der Mond uns stets nur eine und dieselbe Seite zuwendet, was sich nur durch die Annahme erklären läßt, daß

zwischen seiner Rotationsbewegung und seiner transferirenden Bewegung, möge sie sich nun vom Ursprung des Planetensystems herdatiren, oder erst durch Attraktion der Erde auf das Mondsphäroid entstanden sein, vollkommene Gleichheit herrscht. Auch die kleinste Differenz unter diesen Bewegungen würde in der großen Axe der Hemisphäre, die der Mond uns zukehrt, eine Art von Schwanken hervorbringen, die bei der Präcision der neuern Beobachtungen nicht unbemerkt bleiben könnte. Man hat berechnet, daß der Anstoß eines Kometen, dessen Masse kaum ein Tausendstel der Mondmasse betrüge, hinreichen würde, um das wirkliche Schwanken des Mondes oder auch eines Jupitermondes zu verstärken.

Achtes Kapitel.

Von der Gestalt der Himmelskörper.

Die Gestalt, welche dem Gleichgewicht einer mit einer drehenden Bewegung begabten flüssigen Masse zukommt. — Ein Fall, wo das Fluidum homogen ist. — Ein Fall, wo es aus homogenen Schichten zusammengesetzt ist, deren Dichtheiten, von der Oberfläche bis zum Mittelpunkt sich verändern. — Die elliptische Gestalt genügt in beiden Fällen den Bedingungen des Gleichgewichts. — Veränderungen der Schwere auf der Oberfläche des Sphäroids. — Consequenzen, welche hieraus, bezüglich zur Erde, resultiren. — Anwendung der vorhergehenden Theorie auf den Jupiter.

212. Um diese Frage in ihrer ganzen Vollständigkeit zu behandeln, muß man voraussetzen, daß die Planeten ursprünglich flüssige Substanzen waren, so daß sie alle möglichen Gestalten annehmen konnten; sodann fragt sich: welche Gestalt ward die bleibende, um sie, unter dem Einflusse der auf sie einwirkenden Kräfte in den Stand des Gleichgewichts zu bringen? Stellen wir uns, um die Frage möglichst zu vereinfachen, zuerst einen Planeten ohne drehende Bewegung vor, und welcher aus einem homogenen Fluidum gebildet ist, dessen sämmtliche Elemente im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Distanzen sich gegenseitig anziehen. Die verschiedenen Theile des Fluidums werden, um sich ins Gleichgewicht zu setzen, um den Schwerpunkt der Masse sich in sphärischen Schichten lagern, deren

Dichtheit von der Oberfläche zum Mittelpunkt zunehmen muß, und zwar wegen des größern Druckes, welchen die diesem Punkte benachbarten Theile erleiden. Was die Schwere auf der Oberfläche des Fluidums anlangt, so wird sie dieselbe sein, als wenn die ganze Masse nur ein materieller Punkt wäre, welcher in dem Schwerpunkt sich befände (s. d. Anm. S. 146).

Allein die Gestalt der Himmelskörper ist viel complicirter; die drehende Bewegung, mit welcher sie begabt sind, entfernt sie von der sphärischen Figur. Die daraus hervorgehende Centrifugalkraft nimmt im gleichen Verhältniß zu als man sich von den Polen entfernt, oder diese Geschwindigkeit ist Null. Die Molekulen haben also nach dem Aequator hin ein größeres Streben als überall anderswo von der Drehungsaxe sich zu entfernen, und die flüssige Masse muß, vermöge ihrer drehenden Bewegung, die Form eines Sphäroids annehmen, bauchig unter dem Aequator, an den Polen aber abgeplattet. Die Schwere auf der Oberfläche dieses Sphäroids ist nicht mehr gegen den Mittelpunkt gerichtet, und die Intensität wechselt von den Polen zum Aequator. Um in diesem Falle die dem Gleichgewicht zukommende Figur bestimmen zu können, müßte man zuvor das Gesetz dieser Veränderungen kennen, welches selbst von der Dichtheit der Molekulen abhängt, deren Fluidum aus ihrer gegenseitigen Aneinanderfügung besteht. Da die Theorie allein zur Lösung dieser Aufgabe nicht ausreicht, so suchte man sich mit einer Hypothese über die Gestalt und Beschaffenheit der flüssigen Masse zu helfen, indem man bei dieser Annahme das Gesetz der Attraktion aller ihrer Theile bestimmte, so wie die Bedingungen, welche erfüllt werden müßten, damit das Gleichgewicht mit der beliebig erwählten Gestalt statt habe.

Da nach der Kreisform die Ellipse die einfachste

aller erdenklichen krummen Linien ist, so mußte man zuerst sich die Himmelskörper als Sphäroiden denken, die durch die Umwälzung einer um ihre kleine Axe sich drehenden Ellipse erzeugt sind, oder, um einen geometrischen Ausdruck zu gebrauchen: die Figur von Umwälzungs-Ellipsoiden, die an den Polen abgeplattet sind. Newton, welcher von dieser Voraussetzung ausging, fand, daß bei gleicher Dichtheit aller Elemente das Verhältniß der zwei Axen des Erd-Ellipsoids jenes von 229 zu 230 sein müßte. In einem solchen Ellipsoid nennt man Ellipticität oder Abplattung die Ausschweifung der größern von den zwei Axen, als Einheit genommen, über die kleinere. Die Abplattung der Erde würde demnach als homogen betrachtet, $\frac{1}{230}$ sein.

213. Indem Newton der Erde und den Planeten eine bestimmte Gestalt gab, nahm er a priori an, was noch in Frage stand. Seitdem hat die Analyse das Willkürliche dieser Hypothese in Gewißheit umgewandelt, denn sie hat gezeigt, daß die elliptische Gestalt in der That den Bedingungen des Gleichgewichts einer Masse von homogenem Fluidum, die mit einer drehenden Bewegung begabt ist, und deren sämmtliche Elemente ihren gegenseitigen Einwirkungen unterworfen sind, genüge. Die Abplattung des Sphäroids hängt im Allgemeinen von der Geschwindigkeit der drehenden Bewegung und dem Attraktionsgesetz ab. Nimmt man an, daß alle Molekulen, im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Distanzen, sich anziehen, so beweist die Analyse, daß bei den weniger abgeplatteten Sphäroiden die Ellipticität gleich sei $\frac{5}{4}$ des Verhältnisses der Centrifugalkraft zur Schwere unter dem Aequator. Art. 173 haben wir gesehen, daß dieses Verhältniß für die Erde $\frac{1}{289}$ war, was also ziemlich $\frac{1}{230}$ für die Abplattung des Erdsphäroids im Fall der Homogenität gibt, wie es auch Newton gefunden hatte.

Die Analyse zeigt ferner, daß für dieselbe drehende Bewegung es stets zwei elliptische Figuren gibt, welche dem Gleichgewicht genügen. Der Durchmesser des Aequators auf den zwei Flächen ist viel größer als die Axe der Pole, und das Gleichgewicht ist bei einer gegen die Pole zu verlängerten Figur unmöglich. Endlich weist die Analyse der Drehungsgeschwindigkeit eine Grenze an, über welche hinaus das Gleichgewicht bei einer elliptischen Figur unmöglich ist. Also würde die kleinste Dauer der Umdrehung einer homogenen flüssigen Masse von gleicher Dichtigkeit wie die Erde 2 St. 24′ ungefähr sein, d. h. wenn die ursprünglich als flüssig angenommene Erde in weniger als 2 St. 24′ sich um ihren Mittelpunkt drehte, so wäre es unmöglich, eine solche elliptische Figur anzuweisen, daß die gegenseitigen Attraktionen ihrer Elemente, in Verbindung mit der Centrifugalkraft, eine Resultante haben könnten, welche senkrecht von der Oberfläche der flüssigen Masse wäre, eine Bedingung, die zur Sicherung ihres Gleichgewichts durchaus nothwendig ist.

214. Nehmen wir nun an, daß die Erde ein homogenes Fluidum sei, daß aber im Innern dieser Masse zwei flüssige Säulen sich befänden, beide vom Mittelpunkt ausgehend, die eine gegen die Pole ihre Richtung nehmend, die andere gegen einen Punkt des Aequators, so werden, um das Gleichgewicht zu bewirken, die Gewichte der zwei Säulen sich genau die Wage halten müssen. Nun ist aber die erstere Säule kürzer als die zweite in dem Falle, daß das Ellipsoid gegen die Pole zu abgeplattet ist. Es wird also zur Ausgleichung nöthig sein, daß die Schwere am Aequator minder als an den Polen vorwalte. Umgekehrt, wenn die Schwere vom Aequator zu den Polen zunimmt, so wird man auf dieselbe Art schließen können, daß die Ellipsoidenfigur in der Gegend des Aequators verlängert sei. Die Rechnung

zeigt sogar, daß die Gewichte der beiden flüssigen Säulen unter sich sind wie die Produkte ihrer Länge durch die Schwere an den Punkten der Oberfläche, wo sie an einander stoßen, und da diese Gewichte, im Fall des Gleichgewichts sich gleich sind, so folgt hieraus, daß die Schwere an der Oberfläche des Sphäroids in umgekehrter Proportion zu der Länge der Säulen steht. Folglich verhält sich bei einem homogenen Ellipsoid die Schwere an den Polen zur Schwere am Aequator, wie der Durchmesser des Aequators zu der Axe der Pole, d. h. auf der Erde, oder in dieser Hypothese, ist das Verhältniß der zwei Axen des Sphäroids jenes von 230 zu 229, die Schwere an den Polen würde um $^1/_{229}$ die Schwere am Aequator übersteigen.

Vergleichen wir nun dies Resultat mit den Beobachtungen. Art. 173 haben wir gesehen, daß zwei Ursachen die Schwere an der Oberfläche der Erde ändern können: die Zunahme der Centrifugalkraft und die Verminderung der Attraktion der Erde von den Polen zum Aequator. Die Centrifugalkraft vermindert die Schwere an jedem Punkte der Erdoberfläche, und diese Verminderung ist gleich $^1/_{289}$ der Schwere am Aequator, multiplicirt durch das Quadrat des Cosinus der Breite. Die Veränderungen der Schwere, die aus dieser Ursache hervorgehen, verbinden sich mit jenen, die davon eine Folge sind, daß die Erde sich von der Kugelgestalt entfernt, und die totale Veränderung der Schwere von den Polen zum Aequator ist, nach den Beobachtungen mit dem Pendel, gleich $^1/_{200}$, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus der Breite, die Schwere am Aequator als Einheit genommen. Diese Verminderung würde, wenn man alle Theile der Erde von gleicher Dichtigkeit annimmt, dem Vorhergehenden zufolge $^1/_{229}$ sein; sie ist also in der Wirklichkeit größer als sie es der Hypothese zufolge wäre. Es ist in der

That natürlich zu denken, daß die Dichtigkeit der Erdschichten von der Oberfläche zum Mittelpunkt zunimmt, und wir werden in der Folge sehen, daß diese Bedingung nothwendig ist, um die Dauerhaftigkeit des Gleichgewichts der Meere zu sichern, welche sonst ihr Bett verlassen und sich über das Festland ergießen würden.

215. Betrachten wir nun die Frage aus einem allgemeinern Gesichtspunkt und denken uns die flüssige Masse aus heterogenen Lagen zusammengesetzt, oder sie bestehe aus einem festen Kern, den ein Fluidum umgibt, wie ungefähr die Erde aussähe, wenn sie in ihrer ganzen Ausdehnung vom Meere überflutet wäre. In den ansprechendsten Hypothesen, welche dieser Frage ihre Entstehung verdanken, ist — die zunehmende Dichtigkeit von der Oberfläche zum Mittelpunkte vorausgesetzt, — die Abplattung des Sphäroids minder als es im Fall der Homogenität sein würde, und größer als die $^2/_5$ derjenigen, welche diesem Fall entspricht. Wir haben gesehen, daß die Abplattung eines homogenen Fluidums, das sich um eine feste Axe dreht, gleich ist $^5/_4$ des Verhältnisses der Centrifugalkraft zur Schwere am Aequator. Nennen wir also dieses Verhältniß q, so wird die Abplattung eines aus heterogenen Schichten bestehenden Sphäroids, wo die Dichtheiten vom Mittelpunkt zur Oberfläche abnehmen, enthalten sein zwischen $^5/_4$ q und $^1/_2$ q; verhält sich die erste Grenze zu dem Falle, wo das Fluidum homogen wäre, und die zweite zu dem Falle, wo die dem Mittelpunkt benachbarten Theile dichter sind als der Rest des Sphäroids, so wird man die ganze Masse in diesem Punkt vereinigt annehmen können.

Was die Erde betrifft, so ist das Verhältniß der Centrifugalkraft zur Schwere unter dem Aequator ziemlich gleich $^1/_{289}$, die Grenzen der Abplattung würden dann — bei der Annahme einer flüssigen

Masse, deren Dichtheit von der Oberfläche zum Mittelpunkt zunimmt — sein $1/_{231}$ und $1/_{577}$; wir werden sehen, daß diese Abplattung nach den besten Abschätzungen in Wirklichkeit $1/_{305}$ ist, dieser Werth fällt zwischen die zwei von der Theorie ihm gesetzten Grenzen.

Was die Veränderung der Schwere auf der Oberfläche des Sphäroids anbetrifft, so folgt sie in Beziehung auf die elliptischen Sphäroiden dem gewöhnlichen Gesetze, d. h. sie ist proportionirt dem Quadrat des Cosinus der Breite, oder die gänzliche Steigerung des Werthes vom Aequator zu den Polen ist verschieden, und in dem heterogenen Ellipsoid ist der Ueberschuß der Schwere an den Polen über die Schwere am Aequator gleich dem Doppelten der Abplattung des als homogen angenommenen Sphäroids, weniger schon jene, welche es wirklich hat.

216. Die Beobachtungen mit dem Pendel geben beinahe ein $1/_{200}$ für die Zunahme der Schwere von dem Aequator zu den Polen, die Abplattung der Erde im Fall der Homogenität würde, wie wir gesehen haben, $1/_{230}$ sein. Zieht man vom Doppelten dieser Größe oder von $1/_{115}$ das Bruchtheil $1/_{200}$ ab, so findet man $1/_{271}$ für die Abplattung des Erd-Ellipsoids in der Hypothese von der Heterogenität der Erdschichten. Wir haben gesehen, daß die wirkliche Abplattung, zufolge der Beobachtung, gegen $1/_{305}$ beträgt; die Differenz zwischen diesem Werthe und dem vorigen entsteht zweifelsohne durch Unregelmäßigkeiten, welche die Erde von der elliptischen Gestalt abweichen lassen, oder durch zufällige Ursachen, welche das Gesetz der Veränderung der Schwere an ihrer Oberfläche abändern können.

Der Zwischenraum zwischen zwei Oertern, die unter demselben Meridian der Erde liegen, und wo

die verlängerten Vertikallinien auf der Himmelssphäre einen Grad des größten Kreises auffangen, ist das, was man unter einem Grad des Meridians versteht. Wäre die Erde kugelförmig, so würden alle Grade von gleicher Größe sein, allein die Abplattung der Erde bewirkt, daß die Länge der Grade, an der Oberfläche gemessen, differirt, je nachdem sie in der Nachbarschaft des Aequators oder in der Nähe der Pole situirt sind. Die Grade des Meridians nehmen vom Aequator zu den Polen zu, während die Radien, vom Mittelpunkt der Erde zur Oberfläche gezogen, unter denselben Grenzen kleiner werden. Das Gesetz, nach welchem diese Vergrößerungen und Verkleinerungen vor sich gehen, ist jenes, das in den Wechselungen der Schwere sich bemerkbar macht. Da die Länge des Pendels der Schwere proportionirt ist, so muß dasselbe Gesetz auch unter den Veränderungen dieser Längen an den verschiedenen Orten der Erde gelten. Ebenso wachsen die Radien von den Polen zum Aequator, und die Grade, die Schwere und die Längen des Pendels nehmen ab in Proportion zum Quadrat des Cosinus der Breite. Der Ueberschuß des Radius vom Aequator als Einheit genommen, über den Radius des Pols, ist gleich der Abplattung des Sphäroids, und der Ueberschuß des Grades am Pol über den Grad am Aequator als Einheit genommen, ist gleich dreimal dieser Abplattung. Endlich ist der Ueberschuß der Länge des Pendels am Pol über seine Länge am Aequator, getheilt durch diese Länge, gleich $^5/_2$ des Verhältnisses der Centrifugalkraft zur Schwere am Aequator, weniger die Abplattung des Sphäroids.*

* Man denke sich a als die Abplattung der elliptisch angenommenen Erde, q sei das Verhältniß der Centrifugalkraft zur Schwere

Man kann also die Abplattung des Erdsphäroids sowohl durch direkte Messung der Grade des Meridians an der Oberfläche der Erde, als auch durch die Veränderungen der Schwere, die mittelst der Beobachtungen mit dem Pendel deducirt werden, bestimmen. Im folgenden Kapitel werden wir die Resultate auseinandersetzen, die man durch diese beiden Methoden erhalten hat; hier beschränken wir uns auf die Bemerkung, daß die direkte Messung der Grade und die Veränderungen der Schwere sich vereinigen, um der Erde eine Gestalt zu geben, welche mit jener übereinstimmt, die ihr von der Theorie angewiesen ist. Diese letztere läßt schließen, daß die Erde jene Gestalt behalten habe, welche sie, um in den Zustand des Gleichgewichts zu kommen, während ihres ursprünglichen Flüssigseins angenommen. Nun zeigen uns die Berge an ihrer Oberfläche, die verschiedene Dichtheit der Elemente, die sich hier begegnen, deutlich genug, daß diese Voraussetzung sich von der Wirklichkeit entfernt. Zweifelsohne finden sich nicht minder große Anomalien in den innern Schichten vor, und man darf diesen Ursachen, welche ununterbrochen durch Erdbeben, vulkanische Eruptionen ꝛc. — welche die Erscheinungen an der Oberfläche der Erde uns offenbaren — unterhalten werden, die unbedeutenden Differenzen zuschreiben, welche die Resultate der Beobachtung und jene der

unter dem Aequator; bezeichnet man nun mit R den Erdhalbmesser, mit C den Grad des Meridians, mit P die Schwere und mit L die Länge des Sekundenpendels, die dem Aequator entspricht, und mit r,c,p,l, dieselben Größen in Beziehung zu irgend einer Breite, so hat man;

$$r = R \left(1 - a \sin.^2\lambda\right).$$
$$c = C \left(1 + 3 a \sin.^2\lambda\right).$$
$$p = P \left[1 + (5/2\, q - a) \sin.^2\lambda\right].$$
$$l = L \left[1 + (5/2\, q - a) \sin.^2\lambda\right].$$

Theorie, in Beziehung auf die Gestalt der Erde darbieten.

217. Wir werden bald sehen, daß die elliptische Figur den Bedingungen des Gleichgewichts einer flüssigen Masse, die mit einer drehenden Bewegung begabt ist, genüge, sowohl im Falle der Homogenität als in dem weit ausgedehntern Fall eines Fluidums, das aus heterogenen Schichten besteht, deren Dichtheit von der Oberfläche zum Mittelpunkt zunimmt. Allein ist die elliptische Figur die einzige, mit welcher sich das Gleichgewicht verträgt? oder mit andern Worten: könnte es nicht möglich sein, daß die Himmelskörper, vermöge der seit dem Anfang der Bewegung sie belebenden Kräfte, um zu ihrem heutigen Stand der Unbeweglichkeit zu gelangen, Gestalten angenommen hätten, welche von jenen ganz verschieden sind, die nach der vorher erwähnten Theorie vorausgesetzt werden? Diese Frage übersteigt die Kräfte der Analyse, und bis jetzt hat noch Niemand sie zu beantworten vermocht. Ein Versuch, auf anderm Wege diese Aufgabe ihrer Lösung entgegen zu führen, ist folgender: Man nimmt an, welche Dichtheiten der verschiedenen Schichten des Fluidums es auch sein mögen, wenn nur ihre Abplattung sehr klein ist, so erhält in diesem Fall die flüssige Masse die Gestalt eines Umwälzungs-Ellipsoids; die Ellipticität dieser verschiedenen Schichten nimmt von der Oberfläche zum Mittelpunkt ab, während ihre Dichtigkeit zunimmt. Nun ist aber die Hypothese, auf welche dieses Resultat sich stützt, mit der Natur der Himmelskörper conform, weil sie im Allgemeinen sich nur wenig von der Kugelgestalt entfernen. Es ist also anzunehmen gestattet, daß ihre Elemente, indem sie sich durch die Verdichtung nähern, unter sich dieselbe Beschaffenheit bewahren, die sie im flüssigen Zustand hatten.

218. Das Attraktionssystem verschafft uns eine genaue Kenntniß nicht nur von der Gestalt der Erde, d. h. von dem gegenseitigen Aneinanderreihen der Elemente, aus denen sie besteht, sondern auch von ihrer innern Natur. Das Verhältniß der Erdmasse zu ihrem Umfang läßt uns ihre relative Dichtigkeit zu jener der Sonne erkennen. Bis jetzt haben wir aber nicht das Verhältniß ihrer mittlern Dichtigkeit zu jener einer auf ihrer Oberfläche befindlichen Substanz erfahren können. Um sie zu messen, bediente man sich der Attraktion, welche ein Gebirge von beträchtlicher Masse auf die in seiner Nähe befindlichen Körper ausüben kann. Allerdings sind die Gebirge, welche die Oberfläche der Erde bedecken, viel zu klein im Verhältniß zur ganzen Erdmasse, da wir aber, so nahe wir nur wollen, dem Mittelpunkte ihrer Einwirkung uns nähern können, so folgt daraus, daß diese Einwirkung sich in Phänomenen, bezüglich zu ihrer Schwere, äußern kann. So z. B. wird die Verlängerung des Senkfadens in der Nähe eines Berges nicht dem Himmel im Zenith des Beobachters begegnen, er wird sich von ihm in entgegengesetzter Richtung der zwei Seiten des Berges entfernen, so daß wenn von beiden Seiten alles gleich ist, sowohl in Bezug auf die Entfernung des Beobachters, als in Bezug auf die Gestalt des Berges, die rechtwinklige Distanz der zwei Sterne, wo der Senkfaden anstößt, um das Doppelte der Abweichung zunehmen wird. Diese Wirkung wird aber sehr unbeträchtlich sein, wegen der geringen Ausdehnung der Gebirge im Verhältniß zur gesammten Erdmasse; jedoch die Präcision der neuern Beobachtungen genügt, um diese Wirkung bemerkbar zu machen. Wenn der Abweichungswinkel auf diese Art bestimmt ist, so verschaffen uns die Regeln der Mechanik eine sehr einfache Formel, welche das Dichtigkeitsverhältniß der anziehenden Masse zu jener der Erde nach jenem ihrer

respektiven Dimensionen angibt. Daraus läßt sich auf die mittlere Dichtigkeit der Erde im Vergleich zur mittlern Dichtigkeit der Stoffe, aus welchen der Berg besteht, schließen. Dieses Verfahrens bediente sich Bouguer in Peru, als er die Länge des Grades unter dem Aequator messen wollte, und deßhalb die Attraktion eines sehr hohen Berges bestimmte, wobei sich ergab, daß die daraus hervorgehende Wirkung auf die Abweichung des Senkfadens 6″ überstieg. Maskeline erneuerte dies Verfahren auf den Bergen Schottlands, und schloß daraus, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde ziemlich die doppelte des Berges war. Cavendish bediente sich jedoch einer andern Methode. Er leitete seine Erfahrung von der Attraktion her, die eine metallische Kugel von bestimmten Dimensionen auf die äußern Gegenstände ausübt. Um diese Attraktion bemerkbar zu machen, half ihm ein Instrument, dessen sich die Physiker zur Messung sehr kleiner Kräfte bedienen, und das man die Winde nennt. Man schloß daraus auf das Verhältniß der Attraktionskraft zur Schwere, sodann auf das Verhältniß der Masse dieser Kugel zu jener der Erde. Dieser Erfahrung zufolge verhält sich die mittlere Dichtigkeit der Erde zu jener des Wassers wie 11 zu 2, was mit dem vorhergehenden Werthe vollkommen übereinstimmt. Weiter unten, wenn wir von Ebbe und Flut sprechen werden, wird sich zeigen, daß die Stabilität des Meeres erfordere, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde jene des Wassers übertreffe. Wäre diese Bedingung nicht erfüllt, wenn das Meer z. B. aus einer Schichte Quecksilber geformt wäre, so würde die Einwirkung der Sonne und des Mondes, anstatt periodischer Oscillationen darauf eine progressive Bewegung hervorbringen, die zur Folge hätte, daß der Ocean aus seinen Ufern träte, und die ganze Erde überschwemmte.

Wir haben gesehen, daß die Veränderungen der Schwere auf der Oberfläche der als elliptisch angenommenen Erde proportionirt sind dem Quadrat des Cosinus der Breite. Den Beobachtungen mit dem Pendel verdankt man die Ermittelung der Intensität der Schwere an jedem Orte der Erde. Wenn aber die Beobachtung in der Nähe großer Bergketten, wie etwa der Alpen oder Cordilleren, vorgenommen wird, so können davon Unregelmäßigkeiten im Gesetze der Veränderung der Schwere die Folge sein, und die Erde wird sich dann auf einer mehr oder minder beträchtlichen Strecke von der elliptischen Gestalt zu entfernen scheinen. Dasselbe würde auch der Fall sein, wenn durch irgend einen Zufall die Dichtigkeit des Terrains an dem Orte der Beobachtung sehr von der allgemeinen Dichtigkeit der Erdoberfläche differiren würde; die Schwere nähme dadurch mehr ab oder zu als es nach der Hypothese von einer vollkommenen Regelmäßigkeit in der Natur das Bodens sein sollte. Es ist daher bei Anwendung des Pendels zur Bestimmung der Figur der Erde nothwendig, die größte Sorgfalt darauf zu verwenden, daß man die beiden Ursachen der hier näher zu bezeichnenden Anomalie vermeide.

219. Jupiter ist der einzige Planet, dessen Abplattung mit einiger Sicherheit von der Beobachtung bestimmt werden konnte. Die merkliche Ellipticität dieses Planeten brachte den Astronomen die erste Idee von der Abplattung der Erde bei. Indem man alle Theile des Jupiter von gleicher Dichtigkeit annimmt, findet man, daß das Verhältniß des Durchmessers des Aequators zur Polaraxe gleich wäre 1,10967, oder nach Pounds Beobachtungen wäre dies Verhältniß 1,0771. Jupiter ist also weniger abgeplattet als im Fall der Homogeniät, er besteht also aus heterogenen Schichten, deren Dichtigkeit,

wie jene der Erde, von der Oberfläche zum Mittelpunkte zunimmt. Die Abplattung des Jupiter würde also, den Beobachtungen zufolge, 0,07158 oder $1/_{14}$ sein, d. h. mehr als zwanzigmal jene der Erde, eine Schlußfolge, die auch durch ihre schnellere Rotationsbewegung sich bestätigt. Also entfernt sich Jupiter weit mehr als die Erde von der Kugelgestalt. Denkt man sich ihn aus homogenen Schichten zusammengesetzt, deren Dichtigkeit von der Oberfläche zum Mittelpunkte zunimmt, so muß seine Abplattung zwischen $5/_4$ und $1/_2$ des Verhältnisses der Centrifugalkraft zur Schwere am Aequator dieses Planeten begriffen sein. Man findet, daß dieses Verhältniß $1/_{12}$ ungefähr gleich sei, was $5/_{48}$ und $1/_{24}$ für die Grenzen der Abplattung gibt. Der Bruch $1/_{14}$ fällt zwischen diese zwei Größen, die Abplattung des Jupiter ist also in den Grenzen begriffen, welche die Theorie ihr anweist.

Wir haben gesehen, daß, im Fall der Homogenität die Ellipticität der Erde $1/_{230}$ oder 0,004334 sein würde, jene des Jupiter in demselben Falle 0,09883; nimmt man nun Jupiter und die Erde von gleicher Dichtigkeit an, so werden ihre Abplattungen unter sich sein wie 0,09883 zu 0,004334. Wenn, nach den Beobachtungen, man die Abplattung Jupiters $1/_{14}$ macht, so findet man beinahe $1/_{318}$ für die Abplattung der Erde, was sich wenig von dem Werthe $1/_{305}$ entfernt, welcher durch die Messung der Grade des Meridians und durch das Zusammentreffen der andern Phänomene gegeben ist. Die Analogie, welche diese Uebereinstimmung zwischen der Gestalt des Jupiter und jener der Erde herstellt, zeigt genau, daß dasselbe Gesetz bei der Bildung sämmtlicher Himmelskörper thätig war.

Die andern Planeten sind zu weit entfernt, und ihre Abplattung zu wenig merkbar, als daß die

Beobachtung uns die nöthigen Größen *hätte* verschaffen können, um eine ähnliche Vergleichung auch in Bezug ihrer aufstellen zu können. Derselbe Fall tritt bei dem Monde ein, welcher sich dem Beobachter als ein beinahe sphärischer Körper darstellt. Die aus den Gesetzen seiner Schwankung resultirenden Schlüsse sind die einzigen Größen, welche wir bis jetzt über seine eigentliche Gestalt haben.

Neuntes Kapitel.

Figur der Erde.

Methode, sie durch Messung der Grade des Meridians zu bestimmen. — Ungleichheiten der Grade, die unter verschiedenen Breiten gemessen wurden. — Die zunehmende Größe der Grade vom Aequator zum Pol zeigt die Abplattung der Erde in der Gegend der Polaraxe. — Bestimmung dieser Abplattung 1) durch Messung der Grade des Meridians, 2) durch die Veränderungen der Länge des Pendels. — Vom Maße und dem neuen System der Gewichte und Maße. — Physische Constitution der Erde, thermometrischer Zustand, Formation der Gebirge rc.

220. Unstreitig war einer der ersten Gegenstände, welcher die Aufmerksamkeit der Menschen beschäftigte, die Bestimmung der Gestalt und Größe der Erde. Sowohl durch die eigene Ueberzeugung als durch die Berichte der Reisenden vergewissert, daß die Erde keine Fläche sei, nahmen sie an, daß sie die vollkommene Kugelgestalt besitze, wahrscheinlich weil von allen krummen Linien uns die Kugel am leichtesten abzuzeichnen ist. Die Kugelgestalt der Erde schien übrigens auch deutlich durch die Mondfinsternisse angezeigt zu sein, denn in den Eklipsen sieht man, wie die Erde einen ziemlich runden Schatten auf die Mondscheibe wirft. Indem man nun mit den Astronomen der Alten über die sphärische Gestalt einverstanden ist, braucht man nur auf ihre

Oberfläche die Länge eines Grades zu kennen, welcher auf einem Kreisbogen gemessen worden, um, indem man ihn mit 360° multiplizirt, die ganze Größe des Erdmeridians zu erhalten. Da das Verhältniß des Umfangs zum Halbmesser bekannt ist, so zieht man durch dieses die Größe des Erdhalbmessers ab, eine Größe, die der astronomischen Forschung zu wissen unentbehrlich ist, da sie in der Rechnung der Parallaxen von großer Wichtigkeit erscheint. Diese Art, die Gestalt der Erde durch auf ihrer Oberfläche vorgenommene direkte Messungen zu bestimmen, ist die einfachste Verfahrungsweise, und sie wurde deßhalb schon von den frühesten Astronomen geübt. Die Neuern sind hier so weit im Vortheil, daß ihre Resultate durch die Vervollkommnung der Beobachtungsinstrumente eine größere Präcision erhielten. Diese Methode läßt sich in zwei Haupttheile sondern: 1) die Messung des Himmelsbogens, welcher zwei unter demselben Meridian gelegenen Orten der Erde entspricht, 2) die Messung der zwischen zwei Punkten enthaltenen Erddistanz.

221. Man bestimmt den Himmelsbogen, indem man gleichzeitig an beiden Orten die Mittagshöhen desselben Sterns beobachtet, die Differenz dieser zwei Höhen gibt die Zahl der Grade, Minuten und Sekunden, die der auf der Himmelskugel begriffene Bogen zwischen den Zenithen der beiden Beobachtungspunkte einschließt. Nehmen wir an, S (Fig. 100) sei ein Stern, welcher weit genug entfernt ist, daß die gegen ihn gerichteten Gesichtsstrahlen merklich parallel sind, so werden SAz und SBz die Zenithdistanzen sein, und ihre Complemente die Mittagshöhen dieses Gestirns, in Bezug zu den zwei unter demselben Meridian gelegenen Punkten A und B. Die Differenz dieser Winkel ist gleich zCz', oder dem Winkel, welchen die diesen Punkten

entsprechenden Vertikallinien unter sich bilden. Die Beobachtungen, welche zur Fixirung dieses Winkels verhelfen sollen, erfordern die größte Sorgfalt, weil ein Irrthum von 1″ im Himmelsbogen einen andern von ungefähr 16 Toisen bei der Messung des ihm entsprechenden Erdbogens zur Folge haben könnte, also ein Irrthum von wenigen Sekunden kann hier schon das ganze Resultat verfehlt machen. Aber selbst bei den besten Instrumenten wird es auch dem geübtesten Beobachter nicht gelingen, seine Aufgabe präcis zu lösen, er wird sich zufrieden geben müssen, auf zwei oder drei Sekunden der Präcision der Resultate nahe gekommen zu sein, woraus man ersieht, welche Mühe den Astronomen die Messung eines Bogens des Erdmeridians, eine anscheinend so leichte Arbeit, gekostet haben muß! Nur indem man successiv die Arbeiten der Vorgänger untersuchte, und die gemessenen Bogen so weit ausdehnte, daß auch die kleinsten Irrungen sich nicht mehr der Beobachtung entziehen konnten, weil sie sich auf einen größern Raum vertheilten, wurde es nach den unausgesetzten Anstrengungen eines ganzen Jahrhunderts möglich, beinahe zum Ziele zu gelangen.

222. Die Messung des Erdbogens zeigt Schwierigkeiten anderer Art, wegen der mannigfaltigsten Hindernisse, die in einem so beträchtlichen Zwischenraum sich begegnen müssen, wie jener, welchen man einzuschließen genöthigt ist, um die Irrthümer, die bei der Messung des Himmelsbogens sich einschleichen können, möglichst zu vermindern. Die Ausführung der Operation wäre überhaupt unmöglich, wollte man die Distanz zweier direkt entgegengesetzten Stationen messen, d. h. mit Stangen, wie sich deren die Feldmesser bedienen. Man bindet zu diesem Zwecke die beiden Enden des zu bestimmenden Bogens durch eine Kette von Dreiecken

zusammen, beobachtet aber mittelst des Borda'schen Repetitionszirkels * alle Winkel; man braucht

* Dieses Instrument dient dazu, die rechtwinkeligen Distanzen zu geben, welche man auf der Erde oder im Himmel mit einer Präcision messen will, die jener gleich kommt, welche man von einem Instrument erwarten darf, das für weit größere Dimensionen eingerichtet ist. Der Zweck desselben ist, die Ungenauigkeit des Instrumentes zu vermindern, indem man sie auf einen doppelten, dreifachen, vierfachen 2c. Winkel von dem zu messenden Winkel überträgt, diesen Winkel erhält man, indem man die Hälfte, das Drittel oder Viertel desjenigen nimmt, welchen das Instrument anzeigt, so daß, wenn der aus der Ungenauigkeit der Theilung entspringende Irrthum 1" per Grad beim ganzen Bogen betragen würde, so würde er sich auf $1/2$, $1/3$ oder $1/4$ Sekunde bei dem gesuchten Bogen reduziren.

Um davon eine Idee zu geben, nehmen wir einen mit Graden versehenen Zirkel an, in welchem ein Fernrohr AB (Fig. 101) befestigt ist, das sich um den Mittelpunkt C dreht, und nehmen an, dieser Zirkel werde von einer vertikalen Axe ZCD getragen, um welche er sich drehen kann. Richten wir das Fernrohr gegen den Stern E, den wir während der Zeit der Beobachtung als unbeweglich betrachten, so wird der Winkel ZCE die Distanz des Sterns vom Zenith sein. Befestigen wir das Rohr in dieser Position mittelst einer Preßschraube, welche es gegen den Rand klemmt, und geben wir dem Instrument eine drehende Bewegung von 180° um seine Axe, so wird das Fernrohr die Richtung CJ nehmen, und da der Stern in der Richtung CE bleibt, so wird der Winkel ECJ das Doppelte der Zenithdistanz sein; lasse man nun das Fernrohr sich umwenden, ohne daß auch das Instrument in Bewegung gesetzt wird, der Art, um jenes in die Richtung CE zurückzuführen, so wird der Bogen VE, welchen es auf dem Rand durchlaufen hat, das Doppelte von dem geben, was man messen will.

Ist nun das Fernrohr in dieser Position befestigt, so gebe man dem Instrumente abermals eine drehende Bewegung von 180°, das Fernrohr wird dann in CV zurückkehren; um es auf den Stern zurückzuführen, lasse man es sich um seinen Mittelpunkt C drehen, ohne das Fernrohr zu berühren, bis der Stern E in das letztere eintritt. Befindet sich Alles in derselben Lage wie zu Anfang der Beobachtung, hat das Fernrohr die Richtung CE, so gebe man dem Instrument eine drehende Bewegung von 180° um seine Axe ZC, wird das Fernrohr wieder die Richtung CJ nehmen, so führe man es auf den Stern zurück, indem man es sich um den Mittelpunkt C drehen läßt, dann wird die auf dem Rande angezeigte gänzliche Bewegung des Fernrohrs das Vierfache des gesuchten Winkels geben; auf dieselbe Weise wird man den sechsfachen, achtfachen, zehnfachen 2c. Winkel erhalten. Dividirt man dann den ganzen Bogen durch die Zahl der Beobachtungen, so er-

dann nur eine Seite eines einzigen dieser Dreiecke zu kennen, um auch die andern durch die Formeln der Trigonometrie zu berechnen. Wenn die Kette der Dreiecke auf diese Art gebildet ist, und man sie sämmtlich mit der horizontalen Fläche in Uebereinstimmung gebracht hat, so verbindet man die beiden extremen Punkte durch eine dritte, und berechnet dann die Theile dieser in jedem der Dreiecke enthaltenen geraden Linie, die Summe dieser Theile gibt die ganze Länge des zu bestimmenden Erdbogens.

Man denke sich A und B (Fig. 102) als die beiden Punkte, von wo aus man die Distanz messen will, so wird man von dem Punkt A ausgehen, um das Dreieck AMN zu bilden, indem man auf dem Terrain drei deutliche Punkte hinzufügt; mit Hülfe des Repetitionszirkels mißt man die Winkel dieses Dreiecks, so wie die Höhen der drei Punkte A, M, N, um sie zum Horizont zurückzuführen; dann formirt man auf der Seite MN ein neues Dreieck MNO, und zieht ein solches Netz von Dreiecken bis zum Punkt B. Ist die Länge einer einzigen Seite in dieser Reihe von Dreiecken gekannt, so wird man leicht auch alle andern berechnen können. Man wird alsdann die Endpunkte A und B verbinden, und jeden Theil der Linie AB, die in den verschiedenen Dreiecken enthalten ist, bestimmen, indem man auf die Krümmung des Bogens AB Acht hat, wenn dieser Bogen von einiger Ausdehnung ist. Die Summe aller dieser Theile wird die ganze Länge der gesuchten Distanz sein.

Der Erfolg der Operation hängt vor allem von der genauen Messung der Seite ab, auf welche die Rechnung aller Dreiecke sich stützt, welche daher die „Basis" genannt wird, sie muß von einiger

hält man den einfachen Winkel mit einer in Proportion zu dieser Zahl fortschreitenden Genauigkeit.

Ausdehnung und auch in einem Terrain enthalten sein, das möglichst frei von allen Ungleichheiten und natürlichen Hindernissen ist. Man nimmt sie gewöhnlich zu 1200 bis 1400 Meters an, und sie muß sehr genau gemessen werden, weil die kleinste Irrung im Messen der Basis auf die ganze Rechnung nachtheilig einwirken würde. Um die Operation zu bewähren, messe man die Seite eines zweiten Dreiecks, sei nun dieses am Ende des entgegengesetzten Bogens von jenem ausgesucht worden, das man als Ausgangspunkt genommen, oder an einem Zwischenorte. Die Länge dieser Seite, die durch eine direkte Messung gegeben worden, muß genau mit jener übereinstimmen, welche die Rechnung gegeben hat, wenn nämlich die primitive Basis wohl bestimmt worden, und die Winkel mit Präcision beobachtet wurden.

223. Durch Verfahrungsweisen, welche den hier beschriebenen analog sind, haben die alten und neuern Astronomen an verschiedenen Orten der Erde die Größe der Grade des Erdmeridians gemessen, aber hinsichtlich der Alten sind wir, bei der Unkenntniß über die Größe der Maße, die ihnen zu Vergleichungsausdrücken dienten, nicht im Stande, den Werth ihrer Zuverlässigkeit zu bestimmen. Erst gegen Ende des siebenzehnten Jahrhunderts wurde durch die Verbesserung der Instrumente ein sichereres Verfahren erzielt, so daß man den Resultaten, welche dieselben geben, ziemlich vertrauen darf.

Picard maß im Jahre 1672 die Distanz zwischen Paris und Amiens, und den ihr entsprechenden Himmelsbogen, um daraus die Länge des Grades des Erdmeridians zu erfahren. So fand er, daß der Grad von Frankreich unter der mittlern Breite zwischen Paris und Amiens 57060 Toisen betrug. Der von ihm gemessene Bogen wurde von Lahire nach Norden zu bis Dünkirchen, und von

Cassini nach Süden zu bis Perpignan gemessen. Man fand durch das erste Intervall den Grad von 56960 Toisen, und durch das zweite Intervall 57098 Toisen. So ergab sich also, daß die verschiedenen in Frankreich gemessenen Grade von ungleicher Länge waren, was in Uebereinstimmung mit den von Richer in der Intensität der Schwere von den Polen nach dem Aequator wahrgenommenen Veränderungen, anzuzeigen schien, daß die Erde sich merklich von der Kugelgestalt entferne, welche falsche Annahme von den Astronomen der Alten bis auf jene Zeit vererbt worden war.

224. Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, so müßte der Einschnitt der Oberfläche durch die Mittagsebene kreisförmig sein; also würde ein vom Aequator nach den Polen zuschreitender Beobachter gleiche Intervalle zu durchlaufen haben, um die Höhe desselben Sterns successiv um einen Grad zunehmen zu sehen; und da die Beobachtung zeigt, daß dies in der Natur nicht statt hat, so mußte man daraus schließen, daß der Erdmeridian nicht die Kreisform habe. Demzufolge nahm man an, weil die elliptische Figur die einfachste ist, die man ihm geben konnte, daß die Erde durch die Umwälzung einer Ellipse, sich um die Polaraxe drehend, entstanden sei, so daß der Aequator und die Parallelkreise die Kreisform fortbehalten konnten. Jetzt blieb nur noch das Verhältniß der Polaraxe zum Durchmesser des Aequators zu bestimmen, um in dieser neuen Hypothese die Figur des Erdsphäroids zu kennen.

Um dieses Verhältniß von den an der Erdoberfläche vorgenommenen direkten Messungen herzuleiten, beobachten wir, daß, sobald der Meridian nicht mehr kreisförmig ist, die Grade, wie man sehen wird, hinsichtlich der Länge, zufolge den verschiedenen Breiten der Beobachtungsstationen wechseln

müssen; allein in welcher Gegend zwischen dem Aequator und den Polen beginnt in der elliptischen Hypothese die Ab- oder Zunahme der Grade? Was für eine Gestalt auch die Erde haben mag, so wird, je kleiner die zwischen zwei Parallelkreisen begriffene Krümmung eines Bogens des Meridians sein wird, oder je mehr sich dieser Bogen der geraden Linie nähert, desto mehr man genöthigt sein, den Weg in der Richtung des Meridians zu machen, damit die Höhe desselben Sterns um einen Grad zu- oder abnehme. Setzt man nun voraus, daß die Erde im primitiven Zustand flüssig gewesen, so mußte sie sich durch die drehende Bewegung an den Polen abplatten, am Aequator anschwellen. Die Krümmung des Erdmeridians, zuerst kreisförmig angenommen, mußte sich nun gegen die Pole zu vermindern, gegen den Aequator aber anschwellen. Folglich müssen die Grade an den Polen viel länger sein, als in der Hypothese von der Kugelgestalt, während sie viel kürzer erscheinen müssen, wenn man sie gegen den Aequator zu mißt. Die mathematische Analyse gibt uns übrigens einen strengen Beweis von dieser Proportion, und man ist also zu schließen berechtigt: die Grade müssen vom Aequator zu den Polen zunehmen, wenn die Erde ein in der Gegend der Pole abgeplattetes Ellipsoid ist, im entgegengesetzten Fall aber abnehmen.

225. Die drei von Picard, Lahire und Cassini in Frankreich zuerst gemessenen Grade schienen nur eine Verminderung in der Länge des Grades von Süd nach Nord anzuzeigen, was mit der von der Theorie der Erde gegebenen Gestalt sich gar nicht vereinigen ließ. Richtig beobachtete man aber, daß die angrenzenden Grade, die auf einem Bogen des Meridians von sehr kleiner Ausdehnung gemessen waren, nicht genügten, um sie zu bestimmen; daß

die in der Größe der Grade bemerkte Anomalie entweder von unvermeidlichen Irrungen in der Beobachtung oder von lokalen Umständen herkommen konnte, und daß endlich das Gesetz der Veränderungen sich viel deutlicher manifestirte, wenn man solche Grade messen wollte, die durch große Zwischenräume getrennt sind, und an jenen Breiten ausgesucht würden, wo ihre Differenzen am merklichsten sind, d. h. unter dem Aequator und gegen die Pole zu. Boguer, Lacondamine, Godin wurden nach Quito geschickt, Maupertuis, Clairaut, Camus und le Monnier gingen nach Lappland, um unter der größten Breite, die sich erreichen ließe, einen Grad des Meridians zu messen. Während dieser Zeit wurde Lacaille mit der Untersuchung der Grade Frankreichs beauftragt, wobei ihm die seit den ersten Gradmessungen gethanen Fortschritte der Astronomie alle erforderlichen Hülfsmittel zur Erleichterung seiner Aufgabe verschafften. Er rektifizirte anfänglich den von Picard gemessenen Grad, den er gegen 57069 Toisen gefunden hatte, während jener Astronom ihn nur gegen 57060 angenommen hatte. Alle Arbeiten Lacaille's vereinigten sich, um zu beweisen, daß im Allgemeinen die Grade Frankreichs von Süd nach Nord zunehmen, und wenn einige Grade von diesem Gesetze abwichen, so waren die Differenzen viel zu klein und konnten vielleicht den Irrthümern der Beobachtungen zur Last gelegt werden. So verschwand der wichtigste Einwurf, welcher sich gegen die Hypothese der Abplattung der Erde in der Polargegend, dem Newtonschen Gesetze zufolge erhoben hatte. Die Resultate der in Peru und zu Tornea in Lappland gemachten Beobachtungen verscheuchten übrigens bald alle Zweifel, die in dieser Hinsicht noch obwalten konnten. Indem man sie einander näher brachte, fand man:

Grad über den Aequator . .	56753	Toisen
Mittlerer Grad von Frankreich	57023	„
Grad unter dem Polarkreise .	57419	„

Der Grad des Pols war also um 666 Toisen größer als jener am Aequator, und der Grad von Frankreich hielt die Mitte zwischen beiden, wie dies auch sein mußte. Also nach den auf der Oberfläche vorgenommenen Messungen, wie nach den Anzeigen der Theorie erwies sich die Erde als ein Sphäroid, das gegen die Pole zu abgeplattet und am Aequator bauchig ist.

226. Als dieser Punkt einmal festgestellt war, blieb noch die Messung der Abplattung zu bestimmen übrig. Die Mathematik gibt eine einfache Formel an die Hand, mittelst welcher man die Längengröße der auf der Oberfläche des Sphäroids gemessenen Grade erfahren konnte. Diese Formel erfordert nichts als die Kenntniß zweier beliebigen Grade des Meridians, so daß, wenn man eine größere Zahl gemessen hat, man eben so viele besondere Werthe der Abplattung der Erde davon abzieht. Ist nun die Erde ein vollkommen elliptisches Sphäroid, so müssen diese Werthe mit einander übereinstimmen, und gibt es merkliche Differenzen, so ist dies ein Beweis, daß die Zunahme der Grade nicht regelmäßig, und die Gestalt der Erde weit mehr zusammengesetzt sei, als man angenommen hatte.

Dies ist auch wirklich der Fall, und der Werth der Abplattung wechselte mit den Graden, die man zur Berechnung desselben angewandt hatte. * Dem=

* Die unter denselben Breiten unter verschiedenen Meridianen gemessenen Längen der Grade stimmen oft nicht mit einander. So schätzte Boscowich den Grad von Italien auf 56979 Toisen, also war er um 70 Toisen kürzer als der derselben Breite entsprechende Grad von Frankreich. Der von Lacaille am Vorgebirge der guten Hoffnung in der südlichen Hemisphäre gemessene, fand sich 57037 Toisen, d. h. ziemlich gleich dem mittlern Grad von Frankreich, ungeachtet der großen Differenz der Breiten, indem jene am Cap 33° 18'

ungeachtet dachte man, und mit Recht, daß, wenn man von zufälligen Umständen, die auf die Genauigkeit der Beobachtungen von Einfluß sein mochten, abstrahirt, es möglich wäre, daß die Erde, ohne sich von der elliptischen Gestalt merklich zu entfernen, Unregelmäßigkeiten unterworfen sei, die uns beträchtlich vorkommen, die aber in der Wirklichkeit, im Vergleich zu ihrem Volumen, sehr unbedeutend sind. Indem man nun unter den verschiedensten Breiten und unter den verschiedensten Meridianen eine große Anzahl von Graden gemessen, und sie mit einander so verbunden hatte, daß ein mittleres Resultat erzielt werden konnte, durfte man erwarten, daraus die wirkliche Abplattung der Erdkugel bewiesen zu baben.

Neue Grade des Meridians wurden in andern Gegenden seitdem gemessen und ältere Messungen berichtigt. Um eine noch vollkommenere Kenntniß von der Gestalt der Erde zu erhalten, maß man die Grade auch in der Gegend der Parallelkreise, wie man es in der Gegend des Meridians gethan. Alle aufgeklärten Regierungen Europa's zeigten hier einen rühmlichen Wetteifer, doch gebührt Frankreich wegen der Messung des ganzen Bogens zwischen Dünkirchen und Formenterra in dieser Hinsicht das meiste Lob, weil eben dieser Grad die wünschenswerthesten Garantieen für die Genauigkeit gibt, denn aus dem Obgesagten wird man sich erinnern, daß die Beobachtungen am Himmel auf die Resultate einen um so geringern Einfluß haben, je beträchtlicher die gemessenen Bogen sind. Erst wenn die in andern Gegenden der Erde bestimmten Grade in ähnlichen Bogen eingeschlossen werden, kann man auf ihre

und jene des Grades von Frankreich ungefähr 45° ist. Daraus schiene zu resultiren, daß nicht bloß die Oberfläche der Erde beträchtlichen Unregelmäßigkeiten ausgesetzt ist, sondern daß auch die beiden Hälften der Erdkugel sich nicht einmal gleich sind.

Werthe und die Consequenzen sich verlassen, welche man in Beziehung auf die Gestalt der Erde daraus folgern würde.

Wir wählen, um sie zu bestimmen, die folgenden vier gemessenen Grade aus, weil wir uns auf sie am meisten verlassen zu können glauben:

Grade des Erdmeridians.

	Breite.		Länge und Grade.
Am Aequator	1° 31′ 0″,50	südl.	110582,1 Met.
In Indien .	13 6 31,01	nördl.	110628,6
In Frankreich	45 4 18,05		111131,2
In Schweden	66 20		111488,5 *

Indem man diese Werthe so verband, daß man durch einen mittlern die wahrscheinlichste Figur des Sphäroids daraus deduciren konnte, fand man, daß in der elliptischen Hypothese die Länge des Grades unter dem Aequator oder Nullgrad der Breite 110578 Meter sein würde, und die Länge des Grades am Pol 111667,58 Meter. Steht dies fest, so findet man, daß bei der Annahme: die Erde sei ein Umwälzungs-Ellipsoid, der Halbmesser des Aequators 6377284 Meter und der Halbmesser des Pols 6356641 Meter sein müsse, woraus für ihre Abplattung $^1/_{304/6}$ geschlossen werden kann. ** Wir

* Die französischen Akademiker hatten diesen Grad zu 57419 Toisen angenommen, neuere im Jahr 1802 von schwedischen Astronomen vorgenommene Messungen fanden 57202 Toisen, also war die erstere Messung um 217 Toisen zu lang.

** Die Veränderung der Grade von den Polen zum Aequator auf einem elliptischen Shäroid ist proportionirt dem Quadrat des Cosinus der Breite. Nennen wir c die Länge des Grades, welcher der Breite λ entspricht, so wird man haben: $c = 111667{,}58$ M. $+ 1089{,}01$ M. $\cos. ^2\lambda$, eine Formel, in welcher 111667,58 M. die Länge des Grades am Pole repräsentirt und 1089,01 M. den Ueberschuß dieses Grades über jenen des Aequators.

Berechnet man nach dieser Formel die Längen der Grade, welche

haben gesehen, daß die Abplattung der Erde, ursprünglich als flüssig angenommen, zwischen den beiden Brüchen $^1/_{231}$ und $^1/_{577}$ enthalten sein müsse. Wir werden aber bald sehen, daß um dem Phänomen der Präcession zu genügen, diese Abplattung zwischen $^1/_{279}$ und $^1/_{577}$ begriffen sein müsse. Der vorhergehende Werth fällt dann zwischen die von der Theorie ihm vorgeschriebenen Grenzen. Die Abplattung der Erde ist durch den Einfluß, den sie auf die Bewegung des Mondes ausübt, angezeigt, $^1/_{305}$ ungefähr. Dieser Werth stimmt ganz mit jenem, der aus unmittelbaren Messungen an der Erdoberfläche resultirte.

227. Die neuern Astronomen haben in den Veränderungen der Schwere ein weniger direktes aber sehr sinnreiches Mittel erfunden, um die Figur der Erde zu bestimmen, ein Mittel, das den Alten fehlte, weil sie das Phänomen nicht kannten. Wenn die Erde an den Polen abgeplattet, so ist evident, daß die Schwere an diesen beiden Punkten weit mehr überwiegen muß, als am Aequator, weil die Intensität dieser Kraft in dem Verhältniß abnimmt, je weiter der Körper, auf welchen sie wirkt, vom Mittelpunkt der Erde entfernt ist. Diese Veränderungen müssen um so beträchtlicher sein, je mehr die Erde sich von der elliptischen Gestalt entfernt. Es herrscht also unter den beiden Phänomenen eine

den in der vorhergehenden Tabelle erwähnten vier Breiten entsprechen, so findet sich, daß die größte Differenz zwischen den gemessenen und berechneten Grade, nicht 5 Meter übersteigt. Diese Differenzen müßten sich allerdings auf Null reduciren, wenn die Erde eine Ellipse im strengsten Sinne des Wortes wäre, aber wie sorgfältig auch die von uns gewählten Bogen gemessen wurden, so ist es doch schwer, solche kleine Irrungen der Unvollkommenheit der Beobachtung unterzuschieben. Direkte Messungen der Grade des Meridians unter den verschiedenen Breiten stimmen überein, daß die Erde ein Umwälzungsellipsoid sei, so wie es aus den Gesetzen der Theorie resultirt.

Verwandtschaft, die uns dazu verhift, um aus den Veränderungen der mit dem Pendel gemessenen Schwere auf der Erdoberfläche den genauen Werth ihrer Abplattung herzuleiten.

Oben zeigte die Theorie, daß auf einem streng elliptischen Sphäroid die Länge des Sekundenpendels von den Polen zum Aequator in gleicher Proportion mit dem Quadrat des Cosinus der Breite abnimmt. Um die Genauigkeit dieses Gesetzes, in Bezug auf die Erde, zu bestätigen, wählen wir die drei folgenden Beobachtungen:

Beobachtungs-Stationen.	Breiten.		Längen des Sekundenpendels.	Differenzen.
Peru . . .	0°	0′	0,990564 M.	
				0,003303 M.
Paris . . .	48	50	0,993867	
				0,001458
Lappland . .	67	4	0,985325	

Die nach dem Gesetze der Proportionalität zu den Quadraten des Cosinus der Breiten berechneten Differenzen würden sein 0,003198 M., 0,001587 M., also Größen, welche sich zu wenig von den Resultaten der vorhergehenden Tabelle entfernen, als daß man diese geringen Abweichungen den Irrthümern der Beobachtung zuschreiben dürfte, und folglich das Gesetz der Verminderungen des Pendels von den Polen zum Aequator, in gleicher Proportion zum Quadrat des Cosinus der Breiten als genau beobachtet gelten lasse.

Ebenso sind die Veränderungen der Schwere auf der Erdoberfläche, wie sie sein müßten, wenn ihre Figur genau jene eines Umwälzungsellipsoids wäre. Indem man diese Hypothese als ein Resultat der Beobachtung zugesteht, gibt die Theorie zur Abschätzung der Abplattung des Sphäroids eine Formel, die nur zwei Unbestimmtheiten einschließt, nämlich die an zwei bekannten Breiten beobachteten

Längen des Sekundenpendels. Da wir mehr Beobachtungen haben als nöthig wären, um die gesuchte unbekannte zu bestimmen, fangen wir damit an, sie mit einander zu verbinden, um daraus die mittlern Werthe herzuleiten, welche sich am meisten für sie schicken würden. Auf diese Art fand ich 0,990590 M. für die Länge des Sekundenpendels unter dem Aequator und 0,906233 M. für seine Länge an den Polen. Der Theorie zufolge ist der Ueberschuß des zweiten Pendels über den ersten, als Einheit genommen, gleich $^5/_2$ des Verhältnisses der Centrifugalkraft zur Schwere am Aequator, weniger die Abplattung des Erdsphäroids, woraus ich $^1/_{338}$ für das Maß dieser Abplattung schloß.* Dieser Werth ist viel kleiner als jener, welchen die direkte Messung der Grade des Meridians gibt, und stimmt auch weniger mit jenem, welcher aus der Vereinigung der andern Phänomene hervorgeht. Dieselbe Bemerkung paßt auf alle Versuche, die man gemacht, um auf diese Art die Figur der Erde zu bestimmen, was anzukündigen scheint, daß lokale Umstände, wie die Nachbarschaft hoher Gebirge, die Beschaffenheit des Bodens — je nachdem die Dichtigkeit des Terrains an dem Beobachtungsplatz sich mehr oder weniger von der mittlern Dichtigkeit der Erde entfernt 2c. — auf die Schwingungen des Pendels einen weit merklichern Einfluß haben als sie

* Nennt man 1 die Länge des Sekundenpendels, welcher der Breite λ entspricht, und nimmt man an, daß die Länge des Pendels von den Polen zum Aequator im Verhältniß zum Quadrat des Cosinus der Breite abnimmt, so wird man haben: 1 = 0,996233 Meter — 0,005643 Meter cos. $^2\lambda$. Der Ueberschuß des Pendels vom Pole über jenen des Aequators als Einheit genommen, würde also sein 0,005697 Meter, das Verhältniß der Centrifugalkraft zur Schwere am Aequator $^1/_{289}$, und fünfmal die Hälfte dieses Verhältnisses ist 0,00865; zufolge der Theorie muß die Abplattung der Erde gleich sein dieser Größe weniger 0,005697, was da gibt ungefähr 0,008750 — 0,005697 = 0,002953 oder $^2/_{338}$.

auf die Messungen der Grade des Meridians ausüben.

228. Vereinigt man die vorhergehenden Resultate, so sieht man, daß die verschiedenen Mittel um die Abplattung des Erdsphäroids zu bestimmen, als: die Ungleichheiten des Mondes, die Messung der Grade, des Meridians und die Veränderungen der Intensität der Schwere zusammenstimmen, um der Erde dieselbe elliptische Figur zu geben. Diese Verbindung, welche die Theorie der allgemeinen Schwere unter den scheinbar verschiedensten Phänomenen herstellt, und die den Astronomen ihr Anreihen an einander möglich machte, um einige schwierige Punkte des Weltsystems zu bestimmen, ist unstreitig eines der merkwürdigsten und für die Wissenschaft fruchtbarsten Resultate, welche diese großartige Entdeckung hervorgebracht hat.

Die Erdmessung interessirt nicht bloß den Astronomen als ein Gegenstand der Wißbegier, sondern auch, weil sie ihm als Basis für die Abschätzung aller Distanzen dient, die an dem Himmel beobachtet werden. Die Messung mußte daher mit einer Aufmerksamkeit vorgenommen werden, die eines so wichtigen Gegenstandes würdig ist. Nach den S. 45 mitgetheilten Beobachtungen würden sie in der Hypothese von $^1/_{304{,}6}$ der Abplattung, die Dimensionen der Erde sein:

	In Maßen.	In Meilen.
Halbmesser des Aequators .	6377284	1435
Kleine Axe des Poles . .	6356641	1430
Halbmesser des Parallelkreises, wo der Sinus der Breite $\sqrt{1/3}$ ist . . .	6370339	1433
Abplattung $^1/_{304{,}6}$ . . .	20643	4,644
Mittlere Länge des 1° . .	111124,15	25,002
Quadrant des Erdmeridians	10001173,86	2250,27

Die ganze Oberfläche der Erde ist also gegen 25789306 Quadratmeilen groß, von welcher das Meer drei Viertheile bedeckt. Die Gebirge, welche ihre Oberfläche begrenzen, sind sehr klein im Verhältniß zu ihren Dimensionen; in der That, der höchste Berg Europa's, der Montblanc, erhebt sich nur 4810 Meters über das Niveau des Meeres. Der Tschimborasso in Peru hat nur 6530 Meter Höhe und der höchste Punkt der Erde, den man ersteigen konnte, ist die vierzehnte Spitze des Himalaya in Tibet, welcher aber auch nicht 7821 Meter übersteigt. Dies sind nur ganz geringfügige Unregelmäßigkeiten auf einer Oberfläche von so großer Ausdehnung. Um von ihnen eine richtige Idee zu geben, hat man sie mit den Unebenheiten auf der Schale einer Orange verglichen.

229. Der vornehmste Gegenstand, den man sich in Frankreich zu Anfang dieses Jahrhunderts zur Messung der Grade des Meridians gewählt hatte, war die Basis eines gleichförmigen Systems der Gewichte und Maße zu bestimmen. Die damit beauftragte Commission erkannte die Nothwendigkeit, diese Basis an ein Phänomen zu befestigen, das zu jeder Zeit leicht gefunden werden kann, und als Fundamentaleinheit aller Maße adoptirte sie das Zehnmillionstel des vierten Theils des Erdmeridians, was man „Meter“ benannte. Um die Länge abzuschätzen, nahm man die Erde als elliptisch an, und ihre Abplattung bestimmte nun, indem man den von Bouguer ehemals gemessenen Grad des Aequators mit dem Grad von Frankreich verglich. Man fand also für die Abplattung des Erdsphäroids $^1/_{334}$ und für die mittlere Länge der Grade des Meridians auf diesem Ellipsoid 57008,2222 Toisen, den vierten Theil des Meridians zu ähnlichen 90° gerechnet, ist die gänzliche Länge 5130740 Toisen. Nimmt man nun den zehnmillionsten Theil dieser

Zahl, so erhält man 0,5130740 für die Länge des Meters.*

Alle Maße der Länge, des Volumens, des Maßes und Gewichts gehen von dem Meter nach der Decimaleintheilung aus, so daß, wenn das Gesetz der Formation und die fundamentale Einheit gekannt sind, das ganze System leicht nochmals aufgebaut werden kann. Diese Anwendung der Decimaldivision auf das System der Gewichte und Maße wird ihren Gebrauch sehr erleichtern und wird wohl bald bei allen Völkern Eingang finden. Das Wegmaß, welches in der Nautik gewöhnlich angewendet wird, heißt „Seemeile". Es bildet den zwanzigsten Theil eines Grades des Erdmeridians. Nimmt man den mittlern Grad zu 57008,22 Toisen an, so wird die Länge der Seemeile 2850,41 Toisen oder 5555,55

* Bei der Ungeduld, mit welcher man in Frankreich den Vortheilen des neuen Maßsystems entgegen sah, wartete man die Bestimmung des großen Bogens des Meridians zwischen Dünkirchen und Formenterra nicht ab, und begnügte sich, den mittlern Grad von einem Theil dieses Bogens zwischen Dünkirchen und Montjouy zu deduciren. Seitdem diese Operation beendigt und bis Greenwich fortgesetzt worden, ergab sie für die Länge des ganzen zwischen diesen beiden Punkten begriffenen Bogens, zufolge den neuerlich von Puissant nach den Abschätzungen Delambre's vorgenommenen Correktionen 730532,8 Toisen. Da dieser ganze Bogen also eine Himmelsweite von 12° 48′ 43″,89 hat, so gibt er 57018,5 Toisen für den mittlern Grad von Frankreich bei der Breite von 45° 4′ 18″,05. Delambre selbst hatte den von Bouguer gemessenen Grad des Aequators einer kleinen Reduktion unterworfen und ihn auf 56737 Toisen reducirt. Mittelst dieser beiden Grade bestimmt man die Abplattung der Erde, die man $^1/_{303}$ findet, und der vierte Theil des Meridians, den man gleich 5131658 Toisen findet. Die Länge des Maßes würde also sein . . . . 0,5131658 Toisen
oder . . . . 443,375 Länge.
Die legale Länge des Maßes ist . . 443,296 „

Differenz 0,079

Diese Differenz ist in unserer Ungewißheit über die wirklichen Dimensionen der Erde zu suchen (s. Puissant Mém. de l'Insitut. t. XVI.).

Meter sein. Die gewöhnliche Meile, welche in den geographischen Maßen angewendet wird, ist der fünfundzwanzigste Theil eines Grades und enthält folglich 2280,32 oder 4444,44 Meter.

Die Abplattung des Erdsphäroids ist so klein, daß man sie im gewöhnlichen Gebrauch unbeachtet läßt. Auf weiten Reisen sogar darf man die Erde als sphärisch betrachten, und es reicht hin, auf die Ungleichheit der in den Pol- und Aequatorialgegenden gemessenen Grade Acht zu haben. Ebenso werden die Differenzen zwischen zwei aufeinander folgenden Höhen der Sonne, an jedem Mittag beobachtet, als die Differenzen der geographischen Breiten betrachtet werden dürfen, und multiplizirt man den in Grade und Decimaltheile des Grades ausgedrückten Bogen, welcher daraus hervorgeht, mit der dem Grade des Meridians an der gegebenen Breite zugetheilten Länge, so wird man die Distanz haben, welche das Schiff in der Richtung der Meridiane durchsegelt hat.

230. Die Kenntnisse, welche wir von der Gestalt der Erde erhalten haben, können uns auch über ihre physische Beschaffenheit Aufhellung geben. Wir haben gesehen, daß alle auf der Oberfläche beobachteten Phänomene sich in dem Beweise vereinigen, daß die Erde so ziemlich jene Form hat, die dem Gleichgewicht einer, mit einer drehenden Bewegung begabten, flüssigen Masse zukommt. Dieses Zusammentreffen kann unmöglich ein Werk des Zufalls sein, wie man annehmen müßte, wenn die Erde schon im Anfang der Welt ein fester gewesen wäre. Ist es also nicht natürlich zu denken, daß die Molekulen der Erde ursprünglich unter dem Einfluß einer erhitzten Temperatur ihren flüssigen Zustand bewahrten, daß aber später die drehende Bewegung in Verbindung mit den Attraktionen aller ihrer Theile hingereicht habe, um der Erde gegen die

Pole zu die Figur eines abgeplatteten Ellipsoids zu geben, welches sie später, als sie erkaltete, behalten hat? Indem sie allmählig ihre ursprüngliche Hitze verlor, nahmen die minder flüchtigen Theile zuerst einen festen Charakter an, und successive bildete sich eine regelmäßige und feste Rinde, wie wir es noch jetzt sehen.

Wenn die Hitze im Anfang der Zeit, die Elemente, aus welchen die Erde besteht, in der Auflösung erhielt, so wäre möglich, daß ihr Inneres noch die Spuren jener ursprünglichen Hitze bewahrt. Nun ist es aber wirklich der Fall, daß je näher man dem Innern der Erde kömmt, desto heißer die Temperatur wird. Die Erde ist demnach nur eine feste Hülle für Materien, die noch jetzt im Sieden begriffen sind, und somit sind auch die Erdbeben, die vulkanischen Eruptionen und die Existenz warmer Quellen, deren Temperatur mit der verschiedenen Tiefe wechselt, als eine Folge der Erdwärme zu erklären.

Da alle Phänomene beweisen, daß die Erde noch nicht in den vollkommenen Abkühlungszustand übergegangen sei, so war zu befürchten, daß in der Folge der Zeiten die Temperatur der Erdoberfläche durch ein Sinken der Temperatur der innern Schichten wichtige Veränderungen erfahren werde. Einige Naturforscher des vorigen Jahrhunderts, wie Buffon, Bailly &c., gaben dieser Besorgniß noch mehr Nahrung, indem sie für Frankreich die entfliehende Erdwärme im Sommer neunmal, im Winter vierhundertmal jene Wärme, welche von der Sonne ausgeht, überbietend abschätzten, so daß dieses Gestirn einen nur sehr geringen Beitrag zu der Hitze, die auf der Erdoberfläche herrscht, zu liefern schiene. Glücklicher Weise beruht aber dieser Kalkül auf falschen Voraussetzungen, denn Fourier hat in seiner Theorie

der Wärme durch positive Rechnungen bewiesen, daß der Ueberschuß der gesammten Temperatur der Erdoberfläche über jene, welche aus der Einwirkung der Sonnenstrahlen entsteht, auf $\frac{1}{30}$ Grad reduzirt werden müsse. Welche Modifikationen immerhin auch die Temperatur der innern Erdschichten nach Jahrtausenden erfahren könnte, und sollten sie auch ihre ganze ursprüngliche Wärme einbüßen, so wird doch die Temperatur der Oberfläche, die doch allein auf unsere Existenz einen direkten Einfluß haben könnte, nur um $\frac{1}{30}$ Grad variiren, was gewiß eine sehr unbedeutende Quantität ist.

Im zehnten Kapitel werden wir sehen, daß die astronomischen Beobachtungen dieses Resultat auf wahrhaft überraschende Art bestätigen, indem sie zeigen, daß die mittlere Temperatur der Erde seit 2000 Jahren nicht $\frac{1}{200}$ Grad sich verändert hat, was also vollkommen geeignet ist, uns über künftige Veränderungen zu beruhigen.

Was solche Veränderungen der Erdtemperatur anbetrifft, die eine Folge der etwa nach Jahrtausenden sich ändernden Position und Gestalt der Sonnenscheibe sein könnten, so haben wir schon im vierten Kapitel gesehen, daß, da diese Veränderungen periodisch und in gewisse Grenzen eingeschlossen sind, die Lage der Sonne in Beziehung zur Erde zu allen Zeiten ziemlich dieselbe sein wird. Das Perigeum der Sonne ist es allein, welches in Jahrtausenden eine beträchtliche Veränderung erfahren könnte; durch diese Verrückung befände sich die Sonne im Sommer uns näher als im Winter, aber auf der andern Seite würde ihre Bewegung in der erstern Zeit schneller als in der zweiten sein, und die Rechnung weist nach, daß die Zunahme, welche durch die größere Annäherung der Sonne im Lenz und Sommer die Folge sein könnte, durch die auf diese Art bewirkte kürzere Dauer der genannten Jahres-

zeiten in der verminderten Temperatur ihre Ausgleichung fände.

Die einzigen Ursachen, welche in den Klimaten der Erde eine Aenderung hervorbringen könnten, sind entweder lokale, oder ein Wechsel der erwärmenden und leuchtenden Sonnenkraft. Letztere Ursache scheint noch ziemlich fern zu sein, wenn man den Forschungen der Touristen und Geologen glauben darf, denn diese bezeugen, daß die Temperatur in jenen Gegenden, wo Naturrevolutionen die Beschaffenheit des Bodens nicht veränderten, immer dieselbe geblieben sei. Hinsichtlich der lokalen Ursachen ist allerdings bekannt, daß Lichtung der Wälder, Austrocknung der Sümpfe, die Bewässerung dürrer Strecken durch Kanäle, die Eindämmung von Flüssen u. s. w. auf das Klima gewisser Gegenden Einfluß äußern, aber diese ist nur partiell und sehr begrenzt. Es ist also aus dem Vorhergesagten zu schließen, daß seit den frühesten Zeiten die mittlere Temperatur der Erde stets dieselbe geblieben ist wie jetzt.

231. Wir kommen nun wieder auf die physische Beschaffenheit der Erde zurück, und suchen zu erfahren, mittelst welcher Uebergänge sie zu ihrem jetzigen Zustand gelangt ist. War die Erde ursprünglich ein flüssiger Körper, so mußte dem Gesetz des Gleichgewichts flüssiger Dinge zufolge, die Dichtigkeit der Schichten von der Oberfläche zum Mittelpunkte zunehmen, was auch die Beobachtungen im Innern der Minen zu bestätigen scheinen. Damit diese Bedingung erfüllt werde, ist zugleich nothwendig, anzunehmen, daß ursprünglich die dichtesten Theilchen sich um den Mittelpunkt vereinigten, und die leichtesten jene Punkte einnahmen, welche der Oberfläche am nächsten sind, wie man es bei schwereren Flüssigkeiten beobachtet, wenn das sie enthaltende Gefäß nicht bewegt wird. Die verschiedenen

Schichten konnten immerhin aus gleichen Elementen zusammengesetzt sein, doch der Druck, den sie durch das Gewicht der obern Schichten erfahren, und welcher gegen den Mittelpunkt zu immer mehr zunimmt, reichte hin, um ihnen den erforderlichen Ueberschuß der Dichtigkeit zu geben, damit ihr Gleichgewicht gesichert sei.

Die Hypothese von der gänzlichen Flüssigkeit der Erde in ihrem ursprünglichen Zustande, welche das allgemeine Gesetz ihrer Gestalt so natürlich erklärt, gibt uns zugleich ein Licht über die zufälligen Ungleichheiten, womit sie bedeckt ist. In der That ist es eine heutzutage von den Geologen allgemein zugestandene Meinung, daß die Gebirge durch eine Hebung der Erdrinde entstanden seien. Sie kamen aus dem Bauche der Erde hervor, indem sie die feste Decke gewaltsam durchbrachen. So erklärt sich auf die einfachste Weise das Vorkommen von Muscheln auf hohen Gebirgen, ohne daß man erst zu der Hypothese Zuflucht zu nehmen brauchte, diese Muscheln seien Spuren einer allgemeinen Flut, von welcher auch die höchsten Berge bedeckt worden sind. Gewiß ist, daß diese Berge das Produkt eines Naturereignisses sind, welches in einer Epoche eintrat, wo die Erde durch Abkühlung längst schon aus dem flüssigen Zustand in den festen übergetreten war. In der Urzeit bot die Erde also eine einzige Fläche dar, und hatte gar keine merkliche Erhabenheit. Aber die Gase und andere Substanzen, die in ihrem Innern noch in siedendem Zustande waren und die nach außen sich zu verbreiten strebten, hatten die Erdkruste durch eine heftige Eruption gehoben. So entstanden die Berge, indem sie sich über das ursprüngliche Niveau der Erde erhoben. Als die unterirdischen Feuermassen sich einen Weg geöffnet hatten, zertheilten sie sich durch die vulkanischen Schlünde. Wo die Erddecke ihnen einen kräftigern Widerstand leistete, erhoben sie

sich mit desto größerer Gewalt, daher die Ungleichheit vieler Berge derselben Formation und derselben Gegend.

Die Gebirge tragen jetzt noch der Mehrzahl nach unzweifelhafte Spuren jener Umkehrung aller Dinge an sich, welche bei dem Kreißen der gebärenden Natur eintrat. Man darf daraus schließen, daß bei jeder vulkanischen Gährung im Innern der Erde äußerlich neue Berge entstanden. Abgesehen von einigen ähnlichen Erscheinungen, welche das Menschengeschlecht selbst erlebte, kann auch ein bereits erwähntes Faktum diese Meinung bestätigen helfen, nämlich daß die geringe Einwirkung, welche im Allgemeinen die Berge im Verhältniß zu ihrem Volumen auf schwere Körper ausüben, auf ihre unbeträchtliche Dichtigkeit schließen lasse. So haben Bouguers Beobachtungen gezeigt, daß der Einfluß der hohen Gebirge Peru's auf die Oscillationen des Pendels und die Richtung des Senkelfadens nicht den zehnten Theil dessen betrug, den die Gebirge gleicher Höhe ausüben würden, deren Dichtigkeit der mittlern Dichtigkeit der Erde gleich käme. Maskeline war in Beziehung zu einem Gebirge Schottlands zu diesem Resultat gelangt. So scheinen denn diese großen Körper nur wenig eigene Materie im Verhältniß zu ihrem Volumen zu besitzen, und tiefe Höhlen im Innern mehrer Berge haben diese Vermuthung begründet. Wenn also die Gebirgsketten wirklich durch die Hebung der Erdrinde und der ersten bereits hart gewordenen Schichten sich bildeten, so ist anzunehmen, daß ihre durch solch eine Erschütterung zerfahrenen Elemente, noch dazu großentheils mit vulkanischen Substanzen gemischt, nicht die Dichtigkeit der Erdschichten erlangen konnten, die sich durch stufenweises Erkalten des glühenden Stoffes gebildet hatten.

Schließen wir also, daß, wenn die Erde sich etwa

von der regelmäßigen Gestalt, die ihr die Theorie beilegt, zu entfernen scheint, diese Anomalien im Verhältniß zu den Dimensionen der Erde fast unmerklich sind, und sich außerdem auf eine sehr wahrscheinliche Art durch die Hypothese erklären, daß die Erdtheilchen unter dem Einfluß einer hohen Temperatur ursprünglich in flüssigem Zustande waren, und daß die an ihrer Oberfläche allmählig auskühlende Erde in ihrem Schooß noch einen Theil der primitiven Hitze behalten habe.

Zehntes Kapitel.

Präcession der Nachtgleichen und Schwanken der Erdaxe.

Ursache der Präcession. — Ursache des Schwankens — Veränderung der Schiefe der Ekliptik. — Länge des tropischen Jahres. — Masse des Mondes. — Abplattung der Erde. — Unveränderlichkeit der Drehungsgeschwindigkeit der Erde und der Pole an ihrer Oberfläche. — Unveränderlichkeit des mittlern Sonnentages.

232. Die transferirende Bewegung der Planeten um die Sonne ist von ihrer Gestalt ganz und gar nicht abhängig, denn sie würde auch dann statt haben, wenn sie vollkommen kugelförmig wären. Ihre drehende Bewegung hingegen ist genau an das Gesetz gebunden, welches das allgemeine Gravitationsprinzip ihrer Figur vorschreibt. Wären die Himmelskörper homogene Kugeln oder aus homogenen Schichten zusammengesetzt, so würden sie gleichförmig sich um unwandelbare Axen drehen, zufolge der Eigenthümlichkeit, welche die Kugel besitzt, alle Körper anzuziehen, und auch von ihnen angezogen zu werden, als ob ihre ganze Masse sich um den Mittelpunkt sammeln wollte. Wir haben aber gesehen, daß die der drehenden Bewegung der Planeten zukommende Centrifugalkraft ihren Pol senkt und ihren Aequator hebt. Da die Kräfte, welche sie beseelen, sich nicht an ihren respektiven Schwerpunkten vereinigen, so erfahren die zwei Hemisphären nicht die gleiche Attraktion, davon sind die Verrückungen in

ihren Drehungspolen und Schwankungen in ihren Axen eine nothwendige Folge, welche für die Erde das Phänomen der Präcession oder des Vorrückens der Nachtgleichen und die Nutation oder das Schwanken der Erdaxe, für den Mond das Phänomen der Libration oder Schwankung zur Folge haben.

Betrachten wir zuerst die Bewegungen der Erdaxe. Nehmen wir an, daß auf der Polaraxe man eine Kugel beschreibe, so wird die Erde aus dieser Kugel und einem sie überragenden Meniskus zusammengesetzt sein, da die Dicke des Meniskus von den Polen gegen den Aequator vorschreitend zunehmen wird. Die Einwirkung der Sonne auf die Kugel ist von allen Seiten gleichmäßig, daher erfolgt keinerlei Verrückung in ihrem Aequator. Man darf also von diesem Theile des Sphäroids abstrahiren, und die Erde so betrachten, als wäre sie auf den sie umgebenden Meniskus reduzirt. Man denke sich dann die verschiedenen Punkte dieses Solidums den Aequator, wie ein Ring die Kugel, umgebend; wenn die Bewegung der Sonne in der Ebene des Aequators statt hätte, so würde ihre Einwirkung auf alle Punkte dieses Ringes dieselbe sein, und es hätte weder Vorrückung noch Schwankung statt, aber vermöge der Neigung des Aequators gegen die Ekliptik, ist immer eine Hälfte des Ringes über der Ebene und die andere unter derselben. Die Attraktion der Sonne auf die erste Hälfte strebt sie gegen die Ebene der Ekliptik fortzuziehen, indem sie sie sinken macht, ihre Attraktion auf die zweite Hälfte strebt sie mit sich fortzuziehen, indem sie sie erhebt, so daß durch diese doppelte Wirkung der Aequator um seinen Einschnitt mit der Ebene der Ekliptik senkrecht in die Tiefe zu gehen scheint, um sich mit ihr zu confundiren. Dieses würde nun geschehen, wenn die Erde keine drehende Bewegung hätte, aber

diese gibt den Gesetzen des Phänomens eine beträchtliche Veränderung. Die Knoten des Aequators nehmen gegen die Ekliptik eine rückläufige Bewegung an, während seine Neigung gegen diese Ebene keine merkliche Veränderung erfährt. So kann man demnach sagen, daß die Drehung der Erde, indem sie sich mit der Einwirkung der Sonne verbindet, auf die Neigung die Unveränderlichkeit, welche früher in den Knoten existirte, überträgt; und umgekehrt gibt sie den Knoten des Aequators jene Beweglichkeit, welche in ihrer Ebene existirte. *

Newton erklärt sich dieses sonderbare Resultat der täglichen Bewegung wie folgt: Er betrachtet nämlich jedes Theilchen des den Aequator umgebenden imaginären Ringes wie ein Gestirn, das seinen Umlauf um die Erde in 24 Stunden macht. Daraus schloß er, daß die Einwirkung der Sonne auf jedes dieser Gestirne, folglich auch auf den ganzen Ring dieselbe Wirkung hervorbringen muß, die sie auf den Mond ausübt, d. h. sie muß durch eine den Con-

* Man weiß, daß d'Alembert, welcher zuerst eine analytische Auflösung dieses Problems gab, welches zu den schwierigsten in der Mechanik des Himmels gehört, anfänglich von der drehenden Bewegung der Erde abstrahirte, da er dachte, daß es von keinem Einfluß auf die Phänomene der Präcession und der Schwankung sei. Wirklich scheint es, wenn man die Erde als ein Umwälzungssphäroid annimmt, da alle Meridiane ähnlich und successiv auf dieselbe Art der Sonne und dem Monde sich darstellen, daß die Einwirkung dieser Gestirne auf die Erdaxe dieselbe sein müsse, sei es nun, daß die Erde sich um sich selber drehe oder unbeweglich sei. Es ist aber nicht also, und dies ist demnach ein neuer Beweis, zu welchen Irrthümern die dem Anschein nach genauesten Raisonnements führen können, wenn sie nicht von der Analyse ihre Bestätigung erhalten. D'Alembert kam also auf diese Weise zu Resultaten, welche der Beobachtung ganz entgegengesetzt sind, und als er seinen Irrthum merkte, soll er, sagt man, diese erste Arbeit dem Feuer übergeben haben. Nachher nahm er aber diese Arbeit von Neuem wieder auf, indem er die drehende Bewegung der Erde in Betracht zog; so gelangte er zu Resultaten, welche den ersteren ganz entgegengesetzt waren, und die ihm die von der Beobachtung angezeigten wirklichen Gesetze des Verrückens und der Schwankung gaben (Mécanique céleste t. V. p. 253).

stellationen des Thierkreises entgegengesetzte Bewegung die Knoten dieses Ringes gegen die Ekliptik verrücken. Der Ring zieht die Erde wegen der Adhärenz des Meniskus an der Kugel, die er bedeckt, mit sich, da aber seine Masse, verhältnißmäßig zu jener der ganzen Erde, sehr klein ist, so muß seine Bewegung dadurch sehr retardirt werden und daraus folgt in den Knoten des Erdäquators oder in der Aequinoktiallinie die rückläufige und sehr langsame Bewegung, welche die Beobachtung anzeigt.

233. Wenn man sich auch auf diese Art eine erste Vorstellung von der Ursache des Vorrückens der Nachtgleichen verschafft, so darf man immer noch nicht hoffen, ohne den Beistand der Rechnung zur Kenntniß aller Gesetze eines so complicirten Phänomens zu gelangen. Die Analyse zeigt, daß der Mond auf den Meniskus der Erde eben so wie die Sonne Einfluß hat, und daß er mit dieser zugleich das Phänomen der Präcession herbeiführt. Da er sich aber nicht, wie die Sonne, in der Ebene der Ekliptik bewegt, so bringt seine Einwirkung außerdem eine kleine Veränderung in der Neigung des Aequators gegen die Ekliptik hervor, welche durch die Attraktion der Sonne allein constant geblieben wäre. Diese Veränderung ist periodisch, sie entspricht nach einer Umwälzung der Mondknoten denselben Werthen, ihre Periode dauert also 18½ Jahre. Die Erdaxe, welche den Bewegungen des Aequators folgt, zu welchem sie stets senkrecht ist, ist einem abwechselnden Schwanken so unterworfen, daß Bradley, der lange zuvor, ehe die Theorie die Ursache davon entdeckt hatte, diese Beobachtung machte, sie die Schwankung nannte. *

* Außer jener Schwankung, deren Ursache wir hier angeben, ist die Erdaxe noch zwei kleinen Schwankungen unterworfen; die eine, deren Periode eine sechsmonatliche, durch die Sonne hervorgebracht, die andere, von einer halbmonatlichen Periode, durch den

Die Schwankung ändert die Präcession, welche ohne diese statt hätte, unbedeutend. Das wirkliche Aequinoktium scheint also um das bestimmte Aequinoktium zu oscilliren, indem es von der Schwankung abstrahirt, und dies nennt man das mittlere Aequinoktium.

Die Veränderungen, welche die Schwankung in die Neigung des Aequators gegen die Ekliptik einführt, können sich bis zu ± 9″,25 in ihrer ganzen Ausdehnung erheben, und da diese periodisch sind, so ändern sie nicht die mittlere Neigung. Allein die Ebene der Ekliptik ist nicht unbeweglich, denn oben haben wir gesehen, daß die gegenseitige Einwirkung der Planeten die Neigungen ihrer Bahnen langsam variiren macht. Sie verändert also die Position der Erdkugel, und daraus erfolgt in der Schiefe der Ekliptik eine hundertjährige Verminderung, welche die neuern Beobachtungen, wenn sie mit denen der Alten verglichen werden, sehr merklich finden.

Diese Verminderung betrug im Jahre 1800 gegen 48″,46 auf ein Jahrhundert, sie bildet folglich noch nicht den hundertsten Theil der Präcession, welche in diesem Zeitraum bis auf 1° 23′ 42″ steigt. Ihre Größe wechselt in den verschiedenen Jahrhunderten, sie ist aber nicht unbestimmbar, auch ist sie in Grenzen eingeschlossen, welche sie nicht überschreiten kann. Die gänzliche Veränderung der Schiefe, welche aus der Einwirkung der Planeten erfolgen könnte, wäre ± 4° 53′ 33″; allein die Analyse zeigt, daß sie durch die Einwirkung der

Mond hervorgebracht. Die beiden Ungleichheiten, die daraus erfolgen, vereinigen sich mit dem Hauptausdruck der Schwankung, um die gänzliche Schwankung zu formiren, das nennt man dann die „luni-solare“ Schwankung. Da aber beide Ungleichheiten sehr klein, so kann man im Allgemeinen sie übersehen, und, wie wir hier thun, die Schwankung als lediglich vom Mond ausgehend, betrachten.

Sonne und des Mondes auf das Erdsphäroid beträchtlich modifizirt wird; und die Ausdehnung der Veränderungen, welche in der Schiefe der Ekliptik aus dieser vereinigten Einwirkung hervorgehen können, reduzirt sich auf ± 1° 33′ 45″, d. h. beinahe auf den vierten Theil des Werthes, welchen sie haben würde, wenn die Erde sphärisch wäre. Also wird, wie wir oben angezeigt hatten, die Erdbahn um eine mittlere Position, von welcher sie sich wenig entfernen wird, nur unbedeutend oscilliren; und die Schiefe der Ekliptik, nachdem sie eine Reihe von Jahrhunderten, wie jetzt noch, sich verminderte, wird dann in denselben Graden wieder zunehmend, zu ihrer frühern Position zurückkehren, so daß der Aequator nie mit der Ekliptik zusammentreffen kann, was in den Jahreszeiten und Klimaten eine große Unordnung hervorbringen würde.

Dieselbe Ursache, welche die Veränderung der Schiefe der Ekliptik durch die Verrückungen der Erdbahn herbeiführt, bringt in den Aequinoktien eine direkte Bewegung von 0″,13295 im Jahre hervor; die Einwirkung der Planeten vermindert die Ausdehnung der Präcession, welche vermöge der Einwirkung der Sonne und des Mondes statt hätte, um eine geringe Größe; ohne diesen Umstand würde sie 50″,357 jährlich betragen.

234. Im dritten Kapitel haben wir die Wirkungen kennen gelernt, welche aus der Präcession der Aequinoktien auf die scheinbare Position der Gestirne und auf den allgemeinen Anblick des Himmels hervorgehen. Die rückläufige Bewegung der Aequinoktiallinie bewirkt auch die Differenz des tropischen Jahres vom siderischen, sie ist (s. Art. 40) gleich der Zeit, welche die Sonne bedarf, um den Bogen der jährlichen Präcession zu beschreiben. Da jedoch

dieser Bogen nicht in allen Jahrhunderten derselbe ist, so ändern seine Wechslungen die Dauer des tropischen Jahres. Es ist gegenwärtig um 10″,28 kürzer als zu Hipparchs Zeit, hingegen das siderische Jahr ist im strengsten Sinne unveränderlich (s. Art. 40.)

Bradley fand, daß die aus der Schwankung hervorgehenden Wirkungen dargestellt werden könnten, wenn man annimmt, daß der wirkliche Pol des Aequators sich um einen mittlern Pol auf der Contour einer kleinen Ellipse bewegt, deren zwei Axen sich in Größe und Richtung durch die Vergleichung der Beobachtungen bestimmen. * Art. 66 haben wir gesehen, daß alle Ungleichheiten, welche aus der Präcession in der Position der Gestirne resultiren, durch eine conische Bewegung der Erdaxe um die Axe der Ekliptik dargestellt werden könnten. Vereinigt man die zwei Phänomene, so sieht man, daß alle Wirkungen der Präcession und der Nutation zugleich dargestellt werden können, wenn man annimmt, daß der Erdpol sich um den Umfang einer kleinen Ellipse bewegt, deren Mittelpunkt, welchen man als den mittlern Ort des Pols annehmen kann, gleichförmig einen Bogen von 50″,224 jährlich, auf dem Umfang eines kleinen Kreises von 23° 28′ Halbmesser, gezogen vom Pol

* Die große Axe dieser Ellipse, stets in einem Kreis der Breite enthalten, macht die Sehne eines Winkels von 18″,852, und ihre kleine Axe einen Winkel von 14″,032. Um die Bewegung des Pols auf dem Contour dieser Ellipse darzustellen, denkt man sich einen von demselben Mittelpunkt mit seiner großen Axe als Durchmesser beschriebenen Kreis, sodann daß ein Halbmesser von diesem Kreise ihn in rückläufiger und gleichförmiger Bewegung während einer Periode der Mondknoten durchläuft, so daß er mit der Hälfte der großen Axe, die der Ekliptik am nächsten, jedesmal zusammentrifft, wenn der mittlere Knoten der Mondbahn mit dem Frühlingsäquinoktium coincidirt. Endlich zieht man vom äußersten Ende dieses Halbmessers eine senkrechte Linie auf die große Axe dieser Ellipse herab, und der Punkt, wo diese Linie dem Umfang der Ellipse begegnet, ist der wirkliche Ort des Erdpols.

der Ekliptik als Mittelpunkt, und parallel von dieser Ebene, beschreibt.

235. Da die Schwankung der Erdaxe gänzlich der Einwirkung des Mondes zukommt, während die mittlere Präcession von der vereinigten Einwirkung dieses Gestirns mit der Sonne die Folge ist, so kann man, indem man das Verhältniß dieser zwei von der Beobachtung gegebenen Größen mit den Formeln der Theorie vergleicht, davon das Verhältniß der Sonnen- und Mondmasse deduziren. Indem man mit Brinkley, für den Coefficienten der Schwankung 9″,25 annahm, fand man, daß die Einwirkung des Mondes auf das Erdsphäroid ziemlich das Dreifache jener der Sonne ist, und daraus folgt $1/_{79}$ für das Verhältniß der Mondmasse zu jener der Erde. Aber, wie schon d'Alembert bemerkte, die kleinste Aenderung im Werthe der Schwankung reicht hin, um dieses Verhältniß bedeutend zu ändern. Deßhalb suchte man es weit sicherer aus andern Phänomenen zu deduziren, wie wir im zweitfolgenden Kapitel, wo von Ebbe und Flut die Rede sein wird, sehen werden.

236. Vergleicht man die Formeln der Analyse mit den Resultaten der Beobachtung, so erhält man kostbare Daten über das Gesetz der Veränderung der Dichtigkeit und der Ellipticität der Erdschichten von der Oberfläche zum Mittelpunkt. Die Theorie zeigt zuerst, daß die Phänomene der Präcession und Nutation dieselben sind, wie wenn die Erde ein Umwälzungssphäroid wäre. Gibt man diese Voraussetzung zu, so findet man, daß die Abplattung des Sphäroids unter den zwei Brüchen $1/_{279}$ und $1/_{577}$ enthalten sein muß. Führt man diese Abplattung als eine bekannte Größe in die Formeln der Theorie ein, deduzirt man davon das Gesetz der Dichtigkeit des Erdsphäroids. Nimmt man es für eine Zusammensetzung ähnlicher Schichten, so findet

man, daß diese Dichtigkeit von der Oberfläche zum Mittelpunkt zunimmt, was mit den Erfahrungen von Cavendish zusammenstimmt, welcher gezeigt hatte, daß diese Dichtigkeit in gleichem Verhältnisse zunimmt, je mehr man in das Innere der Erde eindringt. Auch ist dies den Gesetzen der Hydrostatik nicht entgegen, welche erfordern, daß, wenn die Erde ursprünglich flüssig war, die dichtern Theile gleichzeitig dem Mittelpunkt am nächsten gewesen sein müssen.

237. Dies sind die vornehmsten Resultate, welche die Bewegung der Erdaxe in Bezug zu den Sternen hervorbringt; diese Bewegung kann aber in der Position der Pole auf der Erdoberfläche Veränderungen hervorbringen, die zu erforschen nicht weniger wichtig sind. In der That, würde die Drehungsaxe im Innern der Erde variiren, so müßte jede von ihren Bewegungen den Aequator verrücken, und dadurch würden auch die geographischen Breiten eine Veränderung erfahren, weit mehr noch der Ocean, welcher im Gleichgewichte gestört, den Bewegungen des Aequators folgend gegen jenen Theil der Erde herabfließen würde, welcher unter ihnen sich gesenkt hat, wodurch auf der entgegengesetzten Seite neue Länderstriche bloß gelegt würden. Die Beobachtungen haben zwar bis jetzt nicht angezeigt, daß die Erdaxe irgend einer Veränderung dieser Art ausgesetzt war; wenn sie aber einer Ungleichheit von langer Periode, die nur nach Jahrtausenden bemerkbar wird, unterworfen ist, so können die astronomischen Beobachtungen, die bis jetzt nur eine kurze Zeit umfassen, nicht hinreichen, um uns über die Folgen dieser Veränderungen zu beruhigen, da sie uns nichts über ihren Gang zu sagen wissen. Hier wäre es also die Aufgabe der Theorie, uns über diesen Gegenstand Licht zu verschaffen, und diese sagt uns, daß die-

selben Kräfte, welche, indem sie die Erdaxe im Raume verrücken, die Präcession und Nutation hervorbringen, nie ihre Position im Innern der Erde, noch die Drehungsgeschwindigkeit der Erde um diese Axe zu ändern vermögen. Was die Oscillationen der Erdaxe anbetrifft, welche von der Schwingung, die sie im Anfang der Bewegung erhielt, resultiren, so haben sie längst aufgehört, und es bestehen nur noch jene, deren Ursache fortdauert. Also zu allen Zeiten wird die Position der Pole und des Aequators auf der Erdoberfläche unverändert bleiben, die drehende Bewegung wird gleichförmig sein, und die Geschwindigkeit dieser Bewegung wird keine abschätzbare Veränderung erfahren. Diese Beweisführung verdankt man Poisson. (Journal de l'Ecole Polytechnique T. VIII.)

238. Der siderische Tag ist der innerhalb zweier aufeinander folgenden Wiederkünfte eines Sterns zu demselben Meridian abgelaufene Zeitraum. Wenn die Drehungsgeschwindigkeit der Erde einer Veränderung unterworfen wäre, so könnte die Länge eines siderischen Tages und jene eines mittlern Sonnentages in jedem Jahrhundert nicht dieselbe sein. Die Basis für die Zeitmessung würde dadurch eine Aenderung erfahren, es müßten bei der chronologischen Fixirung der historischen Ereignisse, Inconvenienzen jener Art die Folge sein, welche der Gebrauch eines unzuverlässigen Eichmaßes (étalon) in der Messung der Erddistanzen hervorbringen würde. Dieselbe Ursache würde auch in den Einrichtungen des bürgerlichen Lebens wichtige Folgen nach sich ziehen. Es war also von großer Wichtigkeit, sich der Unveränderlichkeit des mittlern Sonnentages zu versichern. Die Analyse zeigt zwar, daß die Verrückungen der Ekliptik, in Verbindung mit den Einflüssen der Sonne und des Mondes in ihrem Ausdruck

leichte Veränderungen einführen, sie beweist aber auch zu gleicher Zeit, daß sie stets unmerklich sein werden.

Vergleicht man die Beobachtungen der Alten mit den neuern, so bestätigen sie dieses Resultat. Wäre die Dauer eines mittlern Sonnentages nicht unveränderlich, so würden die Umlaufszeiten der Himmelskörper uns in gleicher Proportion ab- und zuzunehmen scheinen. Was die von den Einflüssen der Sonne und des Mondes unabhängigen Ursachen anbetrifft, welche die Dauer des Tages ändern könnten, so zeigt die Theorie, in Uebereinstimmung mit der Beobachtung, abermals daß ihr Einfluß unmerklich ist.

Oben (Art. 174) haben wir gesehen, daß in der Mechanik eine allgemeine Regel ist, daß in der Bewegung eines Systems von sämmtlich freien Punkten, die Summe der von jedem derselben beschriebenen Flächen auf eine unbewegliche Ebene projektirt, und durch ihre respektiven Massen multiplizirt, während der ganzen Dauer der Bewegung eine unwandelbare Größe sei. Daraus kann man schließen, daß in der drehenden Bewegung eines Körpers von unveränderlicher Form, die Drehungsgeschwindigkeit der Bewegung nicht durch die gegenseitige Einwirkung seiner Theile geändert werden kann. Ebenso können die vulkanischen Explosionen, die fortwährend in einer Richtung in den Tropengegenden wehenden Etesien, die Anströmungen des Meeres gegen die Erdoberfläche ꝛc. weder eine Zu- noch Abnahme in der Geschwindigkeit ihrer drehenden Bewegung hervorbringen. Aus dieser Regel leitet man eine in Bezug zu den Veränderungen der mittlern Temperatur der Erde sehr merkwürdige Schlußfolge her. War die Erde, wie wir (Art. 215) gesehen, ursprünglich flüssig, so mußte sie, als sie sich abkühlte, nothwendig sich zusammenziehen, und indem die Distanzen ihrer Elemente vom Schwerpunkt der Masse sich verkleinerten, mußte ihre Drehungs-

geschwindigkeit ausgleichsweise sich beschleunigen, damit die Summe der in einer gegebenen Zeit beschriebenen Flächen sich gleich bleibe. Die Rechnung zeigt, daß, um dieser Bedingung zu genügen, die rechtwinkelige Drehungsgeschwindigkeit im umgekehrten Verhältniß des Quadrats des Halbmessers des Sphäroids zunehmen müsse, und daß folglich die Dauer des Tages in gleicher Proportion mit dem Quadrat desselben Halbmessers abnehme. Man hat daraus geschlossen, daß die Verminderung um $1/_{100}$ Sekunde von der Dauer eines Tages der Verminderung um ein Zwanzigmillionstel (ziemlich 3 Meter) in dem Erdhalbmesser entspräche. Diese Verminderung würde eine Senkung von $1/_{200}$ hundertgradigen Grades in der mittlern Temperatur der Erde voraussetzen; nun zeigen aber die Beobachtungen, daß der siderische Tag seit 2500 Jahren nicht $1/_{100}$ Sekunde sich verändert hat; der mittlere Halbmesser der Erde hat also keine Verminderung von einem Zwanzigmillionstel seit dieser Zeit erfahren, und die Temperatur hat sich nicht um $1/_{200}$ hundertgradigen Grad in dieser Periode verändert. Die einzige Ursache, die auf merkliche Art die Drehungsgeschwindigkeit der Erde verändern könnte, wäre die Verrückung einer beträchtlichen Masse auf ihrer Oberfläche. So z. B. würde ein hoher Berg, von den Polen an den Aequator versetzt, die Drehungszeit bedeutend verlängern, weil er vom Schwerpunkt des Sphäroids entfernt wäre; die tägliche Umdrehungszeit würde im Gegentheil viel kürzer, wenn ein beträchtlicher Theil der Aequatorialgegenden sich den Polen näherte. Da aber in der Natur keine Anlässe zu ähnlichen Veränderungen vorhanden sind, so dürfen wir die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde und die Dauer des Tages als streng sich gleich bleibend betrachten.

239. Bis jetzt hatten wir das Erdsphäroid als durchaus feste Masse betrachtet, und auf die Oscillationen des Flüssigen, das einen großen Theil desselben bedeckt, keine Rücksicht genommen. Aber die gelehrten Untersuchungen eines Laplace über diesen Gegenstand haben ihn zu diesem wichtigen Theorem geführt, das diese Hypothese plötzlich in Gewißheit verwandelt: „Die Phänomene der Präcession und Nutation sind genau dieselben als wenn das Meer mit der Erde eine einzige gleich sehr feste Masse bilden würde.“

Elftes Kapitel.

Schwankung des Mondes.

Optisches Schwanken. — Wirkliche Schwankung, durch die Attraktion der Erde veranlaßt. — Sie ist unmerklich. — Daraus folgt, daß wir nie die uns entgegengesetzte Hemisphäre des Mondes sehen. — Zusammentreffen der Knoten des Aequators und der Mondbahn. — Schlußfolgen, welche aus der Theorie des Mondes, in Bezug zu seiner Gestalt hergeleitet werden.

240. Oben (Art. 60) haben wir gesehen, daß die Libration oder jene Art des Schwankens, wodurch der Mond uns bedeckt, und wechselseitig einen Theil seiner gegen die Ränder gelegenen Fläche entzieht, ein rein optisches Phänomen ist, es hängt von den Umständen ab, unter welchen wir gestellt sind, um den Mond zu beobachten, und ist durchaus keine Folge der Ungleichheiten seiner drehenden Bewegung, welche vielleicht immer gleichförmig sein mag, und ganz gleich seiner mittlern Umwälzung, was unerläßlich ist, wenn der Mond uns stets die eine Seite zukehren soll.

Die Theorie erklärt zuerst, wie diese Gleichmäßigkeit durch die Attraktion der Erde auf den Mond sich herstellen konnte, ohne daß man anzunehmen braucht, die mittlere Rotations- und Revolutionsbewegungen seien anfänglich gleich gewesen, was in der That sehr unwahrscheinlich wäre.

Die Drehungsaxe des Mondes ist fast senkrecht von der Ekliptik (Art. 60). Nimmt man nun an, sie habe

den Gesetzen der Figur der Himmelskörper gemäß, die Form eines gegen die Pole zu abgeplatteten Ellipsoids, so ist die größere der beiden Axen des Mondsphäroids in der Ebene seines Aequators gelegen, und das ist ebenfalls jene, welche stets gegen die Erde gerichtet ist. Steht dieser Satz fest, so nehmen wir an (Fig. 103), daß ein Radius Vector TL vom Mittelpunkt T der Erde zum Mittelpunkt L des Mondes gezogen sei. Im Zustand des Gleichgewichts wird die große Axe ab des Mondes mit diesem Radius coincidiren, und entfernt man ihn von ihr, so muß die Einwirkung der Erde dahin streben, sie einander wieder näher zu bringen, gleichwie die Schwere einem Pendel die vertikale Richtung wieder gibt. Wenn die primitive Drehungsgeschwindigkeit Null war, oder wenn sie von der transferirenden Geschwindigkeit zu sehr differirte, so würde, weil die Attraktion der Erde nicht mehr hinreichend wäre, um die größere Mondaxe in der Richtung des Radius TL zu erhalten, sie sich während einer Umlaufszeit des Mondes immer mehr entfernen, und wir würden successiv alle Punkte seiner Oberfläche gesehen haben. War aber der ursprüngliche Abstand zwischen den beiden Bewegungen unbeträchtlich, so mußte die Einwirkung der Erde, indem sie fortwährend die größere Mondaxe dem Radius Vector, welcher die beiden Mittelpunkte T und L verbindet, wieder zuführte, das Zusammentreffen der drehenden und transferirenden Bewegung wieder herstellen, und daraus folgt einfach bei der großen Axe des Mondsphäroids eine oscillirende Bewegung um seine mittlere Position, ähnlich jenen Ausschweifungen des Pendels von einer Seite der Vertikallinie, von welcher man ihn etwas entfernt hatte, zur andern.

Die Einwirkung der Erde auf den Mond bildet also, da sie nicht ganz sphärisch ist, die physische

Ursache eines wirklichen Schwankens bei dem Mondsphäroid. Die Beobachtung gibt zwar nicht diese Ursache für die Oscillationen an, allein man darf bloß schließen, daß sie zu klein sind, um von der Beobachtung bemerkt zu werden. und ihr Vorhandensein erklärt wie die Attraktion der Erde die vollkommene Gleichheit unter den mittlern transferirenden und drehenden Bewegungen hergestellt hat, und verhindert, daß die Differenz, die im Anfang der Dinge zwischen diesen Bewegungen existiren mochte, uns die beiden Hemisphären dieses Gestirns unmerklich enthülle, was ohne diese Attraktion gewiß eingetroffen wäre, wie klein man auch diese Differenz angenommen haben möchte.

Die Bewegung des Mondes in seiner Bahn ist nicht nur periodischen Ungleichheiten unterworfen, sondern auch solchen Ungleichheiten, die mit der Zeit unmerklich zunehmen. Die ersten, an welchen die drehende Bewegung nicht participirt, bewirken wegen dieser Differenz eine Schwankung in der Länge, welche gleich jenen periodisch ist. Allein die andern haben eine bleibende Wirkung, und es könnte sein, daß nach Jahrhunderten der scheinbare Aspekt des Mondes, von der Erde aus gesehen, ganz anders würde, obschon es unmöglich war, an ihm in der kurzen Dauer eines Menschenlebens eine merkliche Veränderung wahrzunehmen. Allein die Rechnung zeigt auch, daß die Attraktion der Erde die drehende Bewegung an den sekulären Ungleichheiten der transferirenden Bewegung participiren macht, so daß das Phänomen der Schwankung dasselbe bleibt, als wenn diese letzte Bewegung nur periodischen Ungleichheiten unterworfen wäre. Man wird auch nie von der Erde aus jene Theile der Mondoberfläche zu sehen bekommen, die sich bis jetzt unserm Blicke entzogen. *

* Im vorigen Kapitel haben wir gesehen, wie man durch Vergleichung der neuern Beobachtungen mit denen der alten heraus-

241. Was das sonderbare Phänomen der Coincidenz der gegen die Ebene durch seinen Mittelpunkt parallel von der Ekliptik gezogenen Knoten des Aequators und der Mondbahn anbetrifft (Art. 60), so zeigt die Theorie, daß, wenn diese Coincidenz bestehen soll, es nicht gerade nothwendig sei, daß sie genau im Anfang der Bewegung stattgefunden haben müsse. Es reicht hin, daß die Differenz, welche damals zwischen den Positionen der Knoten des Aequators und der Mondbahn bestand, sehr klein gewesen sei. Die Attraktion der Erde hat die Coincidenz ihrer mittlern Knoten in der Folge hergestellt, und wird sie ewig erhalten, so wie die Unveränderlichkeit ihrer mittlern Neigung gegen die Ebene der Ekliptik. Endlich zeigt die Rechnung, daß die sekulären Veränderrngen der Ebene der Ekliptik die Genauigkeit dieser zwei Phänomene nie verändern.

242. Die Formeln der Theorie haben, verglichen mit den Beobachtungen, über die physische Beschaffenheit des Mondes uns mehre kostbare Angaben geliefert; sie zeigen, daß man den Phänomenen seiner Schwankung, welche die Beobachtung anzeigt, genügt, wenn man dem Monde die Figur eines Ellipsoids gibt, das nicht zu einer

brachte, daß die Erdtemperatur seit 2500 Jahren nicht um 1/200 hundertgradigen Grad sich verändert hat. Der Mathematiker Libri schloß nun analog auf den Mond, indem er sich auf das Phänomen seines Schwankens stützte. In der That begreift man, daß eine Verminderung der Temperatur, indem sie die Elemente des Mondsphäroids zusammenzog, nothwendig auch die Coincidenz verändern mußte, welche zwischen seiner mittlern Rotations- und Revolutionsbewegung bestehen soll, damit er uns stets dieselbe Seite zukehre. Und vermöge der Attraktion der Erde wäre eine Schwankung in der Länge von mehr oder minder großer Ausdehnung erfolgt, welche die Präcision der neuern Beobachtungen hätte entdecken müssen. Da aber diese kein ähnliches Phänomen anzeigen, so ist zu schließen, daß das Mondsphäroid in seiner Temperatur keine merkliche Veränderung erfahren hat, wenigstens nicht seitdem es astronomische Beobachtungen gibt.

Umwälzung sich eignete, und wo die kleinste der drei Axen die Polaraxe wäre, die größte Axe des Aequators gegen die Erde gerichtet, und die in derselben Ebene enthaltene mittlere Axe senkrecht von der vorigen. Diese Figur würde sehr gut zu jener passen, welche der Mond angenommen haben würde, um ins Gleichgewicht zu kommen, wobei man voraussetzt, daß er ursprünglich flüssig gewesen, und aus concentrischen Schichten einer gewissen Dicke zusammengesetzt sei. In der That mußte die drehende Bewegung, gemäß dem gewöhnlichen Gesetz, seine Pole senken und seinen Aequator bauchen, während die Attraktion der Erde ihn in der Richtung der fortwährend gegen sie gewandten Axe in die Länge ziehen mußte. Dennoch scheinen die Differenzen, welche die Theorie zwischen diesen Axen anzeigt, obschon sehr klein, doch beträchtlicher zu sein, als sie sein mußten, wenn der Mond, indem er zur festen Masse wurde, die Figur behalten hätte, welche dem Gleichgewicht aller seiner Theile zukam; was man dem Einfluß zuschreiben muß, den seine eigenthümliche Beschaffenheit, seine geringe Abplattung und die hohen Gebirge, die seine Oberfläche bedecken, nothwendig auf die Phänomene seiner drehenden Bewegung ausüben mußten.

Es besteht unter den drehenden Bewegungen der Erde und des Mondes eine wesentliche Verschiedenheit. Wir haben gesehen, daß die Erdaxe im Innern der Erde unveränderlich sei, dies ist aber nicht auch in Beziehung zum Monde der Fall, seine Rotationspole wechseln etwas auf seiner Oberfläche, und können um seine mittlere Position Ausschweifungen machen, deren Maximum 2′ 36″ ist.

Die Schwere der Erde, welche, indem sie uns dieselbe Hemisphäre des Mondes zukehrt, uns für immer der Hoffnung beraubt hat, auch seine an-

dere Hemisphäre zu sehen, bildet gewiß eine der merkwürdigsten Wirkungen des Gesetzes der allgemeinen Gravitation. Es scheint, daß diese Wirkung sich verallgemeinern lasse, und auf alle mit Monden versehenen Planeten Ausdehnung leide. Eben so müssen die drei letztern Jupitermonde, bei welchen man eine drehende Bewegung erkannte, die ihrer mittlern transferirenden Bewegung gleich ist, fortwährend dieselben Theile ihrer Oberfläche dem Mittelpunkt ihres Planeten zuwenden.

Zwölftes Kapitel.

Ebbe und Flut.

Die vornehmsten Umstände, welche diese Erscheinung hervorbringen. — Die Einwirkung der Sonne und des Mondes auf die Gewässer des Oceans verursacht Ebbe und Flut. — Die Höhe der Flut wechselt gemäß der respektiven Position beider Gestirne. — Verhältniß der Einwirkung der Sonne zu jener des Mondes, daraus schließt man auf die Masse dieses Gestirns. — Die Höhenstände der Flut vermindern sich in demselben Verhältnisse wie die Deklinationen der Gestirne, die sie hervorbringen, zu nehmen. — Tägliche Verspätung der Flut. — Einrichtung des Hafens. — Regel, um in jedem Hafen die Stunde berechnen zu können, wo die Flut eintreten muß. — Einfluß lokaler Umstände auf Ebbe und Flut. — Atmosphärische Ebbe und Flut.

243. Bevor wir uns mit den Ursachen beschäftigen, welche die Erscheinungen der Ebbe und Flut hervorrufen, wollen wir vorerst die vornehmsten Umstände dieses Phänomens dem Leser ins Gedächtniß rufen.

In Meeren von weiter Ausdehnung beobachtet man eine periodische und regelmäßige Bewegung, die ihre Wasser wechselweise, zweimal in 24 Stunden, hebt und senkt. Diese Bewegung geht nicht plötzlich vor sich, während sechs Stunden steigen die Wellen über das Niveau und erstrecken sich bis an die Küste, bleiben dann einige Minuten in einem Zustande vollkommener Ruhe, dann sinken sie wieder

volle sechs Stunden, scheinen einen Moment stille zu stehen, dann beginnt das Steigen abermals und so in derselben Abwechslung immer fort. Die steigende Bewegung heißt die Flut, der Moment, wo das Steigen ein Ende nimmt, heißt die hohe See oder Springzeit, der entgegengesetzte Moment, wo das Sinken eine Ende nimmt, die niedrige See oder Ebbe. Hingegen Totalflut heißt die halbe Summe zweier nächsten Hochmeere über dem Niveau der zwischen ihnen liegenden tiefsten Ebbe.

Die beiden Bewegungen des Steigens und Sinkens sind nicht von gleicher Dauer, denn zum Steigen bedarf die See weniger Zeit als zum Abfließen. In Brest z. B. ist die Differenz 15 bis 20 Minuten, so daß die niedrige See zwischen zwei nach einander folgenden Springzeiten die Mitte hält. In einem Hafen, in dem nicht natürliche Hindernisse die Bewegung der Gewässer retardiren machen, beträgt die Zwischenzeit zweier Springzeiten des Morgens oder des Abends 24 St. 50⅓′, während derselben bemerkt man zweimal Flut und zweimal Abfluß. Die Ebbe tritt also nicht täglich zur selben Stunde in jedem Hafen ein, der Moment des Phänomens bleibt täglich ¾ Stunden ungefähr gegen jenen des vorigen Tags zurück, und dieser Umstand bietet eine merkwürdige Analogie mit der Bewegung des Mondes dar, dessen Durchgänge durch den Meridian täglich um dieselbe Größe retardiren.

Die Höhepunkte, welche das Meer an demselben Orte der Erde erreichen kann, sind nicht immer gleich, sie variiren während eines Monats und in den verschiedenen Jahreszeiten. Diese Differenzen bestehen: erstens darin, daß die Flut im Neu- und Vollmond, d. h. in den Syzygien, größer ist, als in den Quadraturen. Der mittlere Werth der Totalflut ist zu Brest in seinem Maximum in den

Syzygien, wenn Sonne und Mond im Aequator und in ihrer mittlern Distanz vor der Erde sind, 6,2490 Meter, in denselben Umständen ist sie 3,0990 Meter in ihrem Minimum in den Quadraturen. Die größte Höhe und die größte Tiefe haben nicht am Tage des Syzygiums selber statt, sondern $1\frac{1}{2}$ Tage später; zweitens: die Höhenstände der Flut in den Syzygien sind viel größer und die Höhenstände der Flut in den Quadraturen viel kleiner in den Tag- und Nachtgleichen als zu jeder andern Jahreszeit. Hingegen in den Sonnenwenden ist die Flut im Voll- und Neumond weniger stark als jene in den andern Mondswandlungen, während die Flut in den Quadraturen beträchtlicher ist. Zu Brest beträgt die Totalflut in den Syzygien 0,75 M. weniger in den Solstitien als in den Aequinoktien. Die Totalflut der Quadraturen ist bei gleicher Größe kleiner in den Aequinoktien als in den Solstitien.

Ein besonderer Umstand ist bei diesem Phänomen, daß zur Winterszeit die Flut in den Neu- und Vollmonden größer als im Sommer ist. Ein kleiner Unterschied herrscht ferner zwischen den Morgen- und Abendfluten. Zu Brest übersteigt die Morgenflut in den Syzygien der Sommerwende die Abendflut um 0,83 Meter, hingegen die Abendflut übersteigt in den Syzygien der Winterwende. Endlich nimmt die Höhe der Flut in gleichem Verhältniß ab, als die Breite des Beobachtungsortes steigt und unter 65° der Breite ist die Flut fast ganz unmerkbar.

244. Diese einfache Darstellung der vornehmsten Erscheinungen der Ebbe und Flut gnügt, um zu zeigen, daß sie mit den Bewegungen der Sonne und des Mondes in sichtbarer Verwandtschaft stehen. Schon die Alten hatten diese Wahrheit anerkannt, aber erst Newton war es vorbehalten uns zu zei-

gen, wie diese Ursache wirkt, und wie die Attraktion der beiden Gestirne vereinigt wirkend das wechselweise Steigen und Sinken des Oceans veranlassen.

Oben (Art. 215) haben wir gesehen, daß, wenn das Meer die ganze Oberfläche der Erde bedecken würde, es vermöge der Schwere und der täglichen Umdrehung, um in den Zustand des Gleichgewichts zu kommen, die Form eines an den Polen abgeplatteten und am Aequator bauchigen Ellipsoids annehmen müßte. Und diese Form würde das Meer stets behalten, so lange keine fremde Kraft auf dasselbe einwirkt. Allein die störende Kraft der Sonne und des Mondes muß fortwährend dahin streben, dieses Gleichgewicht zu hindern, und ähnliche Wirkungen, wie Ebbe und Flut, hervorbringen. Wäre die Einwirkung der beiden Gestirne auf alle Theile der Erde gleichmäßig, so würde sie höchstens eine Verrückung der Masse und des sie bedeckenden Fluidums bewirken, ohne in der respektiven Lage ihrer Molekulen irgend eine Veränderung zu veranlassen. Allein da die Attraktion im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Distanzen wechselt, so folgt daraus, daß die in der, dem Gestirn zugekehrten, Hemisphäre gelegenen flüssigen Theile weit stärker als der am weitesten entfernte Mittelpunkt der Erde angezogen werden. Die flüssigen Theile müssen, vermöge ihrer vollkommenen Beweglichkeit sich gegen das Gestirn, welches sie anzieht, erheben, und von dem Mittelpunkt der Erde mit einer Kraft sich erheben, welche der Differenz der Einwirkungen gleich ist, die dieses Gestirn auf die flüssigen Molekulen und den Mittelpunkt der Erde ausübt. Im Gegentheil werden die in der von dem Gestirn abgewandten Hemisphäre gelegenen flüssigen Partikelchen, da sie weniger stark als der Mittelpunkt der Erde angezogen werden, zurückbleiben, und dann unter

dem sie antreibenden Gestirn wieder erhoben zum Vorschein kommen, gleich jenen der obern Hemisphäre.

Nehmen wir nun an, die Sonne (Fig. 104) bewege sich in der Ebene des Aequators, so muß ihre Attraktion die Erhebung des Meeres an den beiden entgegengesetzten Punkten A und B zur Folge haben, welche sich auf der, den Mittelpunkt der Erde mit jenem der Sonne verbindenden geraden Linie befinden; die andern Theile des Fluidums müssen dahin streben, jener Bewegung der zwei Punkte mit einer Geschwindigkeit zu folgen, die um so größer ist, je näher sie einander sind. Und da an einem flüssigen Theile keine Erhöhung denkbar ist, ohne daß gleichzeitig an dem andern ein Niederdrücken bemerkbar sei, so muß die flüssige Masse immer dieselbe bleiben. Man begreift also, daß in den Zwischenpositionen das Meer gesenkt sein wird, und zwar werden sich 90° Distanz in der Länge von den zwei erhabensten Punkten jene Punkte C und D befinden, welche am tiefsten gesenkt sind.

Die Einwirkung der Sonne wird also täglich an jedem Orte der Erde Erhebungen der Meeresfläche zur Folge haben; das erste Mal, wenn die Sonne durch den obern Meridian geht, weil alsdann die flüssigen Molekulen viel stärker als der Mittelpunkt der Erde angezogen werden; das zweite Mal, wenn sie durch den untern Meridian geht, weil der Mittelpunkt der Erde alsdann stärker als die flüssigen Molekulen angezogen wird. Das Steigen wird für die unter demselben Meridian gelegenen und diametral entgegengesetzten Punkte stattfinden, wenn die Sonne diese Ebene durchkreuzen wird. 90° Distanz von diesen zwei Punkten ist das Meer gesenkt, weil es die Wasser hergeben muß, welche der Flut die Nahrung zuführen. Also wird die Sonne täglich zweimal Flut und Ebbe bewirken. Dasselbe wäre auch bezüglich des Mondes der Fall,

wir dürfen also im Zeitraum eines Mondtages vier Fluten unterscheiden, nämlich zwei, welche die Sonne veranlaßt, und zwei, die der Mond verursacht. Allein die gleichzeitigen Wirkungen der zwei Gestirne verbinden sich unter einander in der Hervorbringung des Phänomens, welches sich auf die von uns beobachteten täglichen zwei Fluten beschränkt. Davon müssen große Veränderungen die Folge sein, sowohl hinsichtlich der Stunden als hinsichtlich der Höhenstände der Flut, je nachdem die Einwirkungen der Sonne und des Mondes concurriren, um dieselben Erfolge hervorzubringen, oder daß sie sich gegenseitig daran verhindern.

In den Oppositionen oder Conjunktionen vereinigen sie sich zur Hebung des Meeresspiegels, in den Quadraturen hingegen ist diese Erscheinung nur vermöge der Differenz dieser beiden Wirkungen möglich. In den Conjunktionen durchschneiden Sonne und Mond gleichzeitig den Meridian; in den Oppositionen befindet sich das eine Gestirn im obern Meridiane, das andere in dem untern. Also in beiden Fällen vereinigen die zwei Gestirne ihre Kräfte, um die Gewässer zu heben, welche an den unter diesem Meridian situirten Punkten sich befinden. Die zwei partiellen Fluten, welche ihre Wirkung hervorbringt, decken sich einander, ohne sich zu schaden, wie die Wellen in einem leicht bewegten Bassin; und die Totalflut ist in diesem Fall die Summe der Mondflut und der Sonnenflut. In den Quadraturen, wo der Mond 90° von der Sonne entfernt ist, strebt dieser dahin, die unter ihm gelegenen Wasser zu heben, während die Sonne auf ihre Senkung hinwirkt und umgekehrt. Die Totalflut ist folglich nur Ueberschuß jener Flut, welche von den mächtigern Gestirn angeregt wird, über die Flut, auf welche das schwächere Gestirn einwirkt, die daher also unbedeutender sein muß. Stehen sich aber die Dinge

gleich, so werden die größern Fluten in den Syzygien, die kleinern in den Quadraturen eintreten. In den Zwischenzeiten strebt die Sonnenflut nur die Stunde und Höhe der Mondflut zu verändern, bald in der einen Richtung, bald in der entgegengesetzten, je nach den respektiven Positionen der zwei Gestirne, welche sie hervorbringen.

245. Vergleichen wir nun die Intensitäten der Sonnen- und Mondeinflüsse auf die Flutungen. Wir haben gesehen, daß der Einfluß des einen oder des andern Gestirns auf die Hebung des Meeres nicht aus der totalen Einwirkung dieser Gestirne auf das Erdsphäroid bestehe, sondern aus der Differenz der Wirkungen, welche sie auf den Mittelpunkt der Erde und auf das ihre Oberfläche bedeckende Fluidum ausüben. Die Rechnung zeigt, daß diese Kräfte unter sich sind, wie die Massen eines jeden der zwei respektiv durch den Cubus ihrer Distanz vom Mittelpunkt der Erde getheilten Gestirne. Obschon aber die Sonnenmasse unvergleichlich größer als die Mondmasse, so ist sie doch weit entfernter von der Erde, woraus folgt, daß ihre Einwirkung auf die Hebung des Meeres weit schwächer sein muß als jene des Mondes. Die Distanz der Sonne von der Erde übertrifft vierhundertmal jene des Mondes; also wäre die Abschätzung des Verhältnisses ihrer respektiven Einwirkungen auf Ebbe und Flut ein Leichtes, wenn erst das Verhältniß ihrer Massen gegeben wäre, leider ist aber das der Mondmasse uns noch nicht genügend bekannt um uns zu dieser Rechnung zu entschließen, * und das Phänomen der Ebbe und Flut bietet uns eines der sichersten Mittel, um sie zu bestimmen. Indem Newton die Fluten in den Quadraturen und in den

* Art. 235 haben wir gesehen, daß die Masse des Mondes, von dem Phänomen der Präcession und der Schwankung deducirt, immer noch einige Ungewißheit übrig läßt.

Syzygien mit einander verglich, fand er, daß die sie hervorbringenden Kräfte ungefähr wie 1 zu 6 sich verhalten. Bernoulli fand nach einer genauern Schätzung dieses Verhältniß wie 2 zu 5, und Laplace schätzte sie auf 2,3533, was sich dem vorigen Werth am meisten nähert. *

Der Einfluß des Mondes auf die Gewässer des Meeres ist also, in den analogen Situationen beider Gestirne dritthalbmal größer als jener der Sonne. Die Größe der Schwingungen des Meeres muß also zur Kraft, die sie hervorbringt, in gleichem Verhältnisse stehen; die Mondfluten sind also, wenn alle Sachen gleich stehen, viel stärker als jene der Sonne. Dies gibt ein sehr einfaches Mittel an die Hand, um die Masse des Mondes zu bestimmen. Man nenne L die Masse der Sonne, r ihre mittlere Distanz von der Erde und bezeichne mit L' und r' dieselben Größen bezüglich zum Monde, so werden die Einwirkungen beider Gestirne auf die Hebung des Meeres unter sich sein wie $\frac{L}{r^3}$ zu $\frac{L'}{r'^3}$. Wir werden sehen, daß, nach diesen Beobachtungen, dieses Verhältniß jenes von 1 zu 2,3533 war; die Distanz der Sonne von der Erde übersteigt jene des Mondes vierhundertmal, die Sonnenmasse ist mindestens 354,500 größer als jene der Erde; mittelst dieser Zahlen findet man, daß die Mondmasse zu jener der Erde wie $\frac{1}{70}$ sich verhält. Die Vergleichung

* Wenn der Hafen am Aequator liegt, so ist, nach Newtons Theorie, der Ueberschuß der Syzygien bei hoher See über die Syzygie bei niedrigstem Stande der See gleich der Summe der Einwirkungen der Sonne und des Mondes; der Ueberschuß der Quadratur bei hoher See über die niedere drückt die Differenz dieser Einwirkungen aus. Liegt der Hafen nicht am Aequator, so muß man diese Einwirkungen mit dem Cosinus der Quadrate der Breite multiplizieren. So ist es demnach durch die Beobachtung der Höhen von Ebbe und Flut in den Syzygien und Quadraturen leicht, das Verhältniß der Einwirkungen der Sonne und des Mondes zu bestimmen.

der Präcession und Nutation gibt für dasselbe Verhältniß $1/_{79}$; diese beiden Werthe, obschon sie aus sehr verschiedenen Phänomenen hergeleitet sind, stimmen also, wie man sieht, auffallend überein.

246. Bis jetzt nahmen wir die Bewegung der Sonne und des Mondes nur im Aequator an, betrachten wir nun ihre Einwirkungen auf die Hebung des Meeres bei der Annahme, daß ihre Distanz vom Aequator wechsle, was auch wirklich der Fall ist. Man weiß, daß Sonne und Mond sich nie weit von dieser Ebene entfernen. Also werden die Fluten, wie wir sie oben beschrieben, nur eine sehr geringe Modifikation dadurch erfahren. Theorie und Beobachtung vereinigen sich in dem Beweise, daß der Einfluß dieser beiden Gestirne nach Verhältniß ihrer Entfernung von der Ebene des Aequators abnimmt, d. h. das Steigen der Flut läßt, wenn die Sachen gleich stehen, in gleichem Verhältniß nach, je mehr die Deklinationen von Sonne und Mond zunehmen. Also wirken zwei Hauptursachen auf die Steigungen der Flut in den Neu- und Vollmonden ein, die Veränderungen der Distanzen jener Gestirne, welche sie veranlassen, und ihre Deklinationen. Diese Höhen sind um so beträchtlicher, wenn Sonne und Mond der Erde und der Ebene der Ekliptik näher sind. Die größten Syzygialfluten finden also in der Tag- und Nachtgleiche statt, wenn der Mond gleichzeitig im Aequator und in seinem Perigeum ist; die kleinsten treten im Wintersolstiz ein, wenn der Mond in seinem Apogeum und in seiner größten Deklination ist. *

* Man trifft in der Connaissance des temps jedes Jahr das Verzeichniß der größten Flutungen im Jahre. Sie sind nach einer sehr einfachen Formel, die auf den von der Theorie angezeigten, von der Beobachtung bestätigten Prinzipien sich stützt, berechnet:

247. Bisher hatten wir uns nur mit Ebbe und Flut beschäftigt, jetzt wollen wir auch die Erscheinungen in Betrachtung ziehen, welche zu den sie trennenden Zwischenzeiten in Beziehung stehen. Abstrahiren wir einen Augenblick von der Sonne; würden die Gewässer des Meeres den auf sie einwirkenden Kräften plötzlich nachgeben, so müßte die hohe See in dem Moment erfolgen, wenn der Mond den Meridian durchschneidet. Allein vermöge der Kraft der Trägheit, welche dahin strebt, alle Körper in dem Stand zu erhalten, welchen sie zu einer gegebenen Zeit einnehmen, muß die Stunde der hohen See sich verzögern, und ihre Höhe im Allgemeinen sich vermindern. Aus derselben Ursache tritt ein scheinbar momentaner Stillstand nach dem Steigen und Fallen der Flut ein, bis die Gewässer wieder den auf sie einwirkenden neuen Kräften nachgeben. Auf der ganzen Ausdehnung der französischen Küstengegenden bemerkt man, daß die Flut ziemlich $1\frac{1}{2}$ Tage retardirt wird, so daß sie in jedem Hafen nicht ein Erfolg unmittelbarer Einwirkung der Gestirne ist, sondern von einer Kraft, die schon 36 Stunden früher in Thätigkeit trat. So z. B. sind die höchsten und niedrigsten Fluten nicht jene, welche an dem Tage der Syzygien und der Quadraturen eintreten, sondern jene, welche $1\frac{1}{2}$ Tage später eintreten. So daß, wenn das Syzygium im Moment der hohen See eintritt, die höchste Flut erst die drittfolgende ist, und wenn die Quadratur im Moment der hohen See eintritt, ist die drittfolgende Flut die kleinste.

Außer diesen allgemeinen Ursachen für das spätere Eintreten der Flut, haben noch an jedem Orte

1) Jede Mond- oder Sonnenflut nimmt zu wie der Cubus des scheinbaren Durchmessers oder der Parallaxe des Gestirns, das die Flut veranlaßt; 2) sie nimmt ab wie das Quadrat des Cosinus der Deklination dieses Gestirns; 3) in den mittlern Abständen der Sonne und des Mondes von der Erde ist die Mondflut dreimal größer als die Sonnenflut.

besondere Umstände Einfluß, als: die Tiefe der Gewässer, die Unregelmäßigkeiten des Bodens, gegen welchen sie anstoßen; die Hindernisse jeder Art, welche einer freien Bewegung des Meeres entgegenwirken, können die Zeit leicht verrücken, in welcher die Flut den erhaltenen Einwirkungen zufolge in unsere Häfen kommen muß. Die Verzögerung, welche sie an jedem Orte der Erde während des Durchgangs des Mondes durch den Meridian bei seiner Conjunktion mit der Sonne erfährt, heißt die „Feststellung des Hafens." Da die Umstände, welche die Verspätung verursachen, immer ziemlich dieselben sind, so ist die „Feststellung des Hafens" ein ziemlich constantes Maß, variirt aber merklich von einem Orte zum andern, zuweilen sogar an Orten, die nicht so fern von einander sind. Zu Dünkirchen beträgt dieses Maß 11 St. 45′, wenn der Mond in seiner mittlern Distanz von der Erde angenommen ist, zu Havre 9 St. 15′, zu Cherburg 7 St. 45′, zu Brest 3 St. 33′ u. s. w. Die Feststellung des Hafens bestimmt sich an jedem Orte durch die Beobachtung der Stunde, wenn die hohe See am Neumondstag eintritt.

Das Steigen der Gewässer im Moment der hohen See ist das Resultat der vereinigten Wirkungen von Sonne und Mond. Diese beiden Gestirne befinden sich aber nur zweimal gleichzeitig im Meridian; die Stunde, in welcher das Meer seine größte Höhe erreicht hat, muß also täglich wechseln, wie die Stunde, in welcher der Mond den Meridian durchschneidet. Im Neu- und Vollmonde ist der Moment, wo die beiden Gestirne ihren größten Einfluß ausüben, jener des Durchgangs des Mondes durch den Meridian. Es ist derselbe Fall, wenn er im ersten und letzten Viertel ist, an den andern Tagen geht dieser Moment entweder seinem Durchgang vorher, oder folgt auf ihn, weit kann er sich

aber nie entfernen, weil die Anziehungskraft des Mondes, wie wir gesehen haben, dreimal größer ist als jene der Sonne. Die Analyse verschafft uns die Formeln, welche die Stunde des hohen Meeres in einem Hafen, dessen Breite bekannt ist, genau angeben, sobald die Feststellung des Hafens bestimmt ist. Diese Formeln, welche für jeden der besuchtesten Hafen berechnet sind, können leicht in Tabellen reduzirt werden, welche den Seefahrern von großem Nutzen sind, weil sie gewöhnlich nicht in dem Hafen anlangen oder denselben verlassen können, als im Moment der hohen See, daher ihnen die Stunde dieses Phänomens zu wissen wichtig ist.

Aus dem Vorhergehenden folgt, daß der Zeitraum, welcher zwischen zwei aufeinander folgenden Fluten verfließt, nicht immer gleich ist, er unterliegt verschiedenen Veränderungen, die von den Mondphasen abhängen. Sein mittlerer Werth ist 24 St. 50′ 28″; die Zwischenzeit, welche zwei aufeinander folgende Fluten trennt, übersteigt also einen Sonnentag um beinahe eine Stunde. Diese Zwischenzeit ist die kürzeste in den Syzygien, wo die Flut ihre größte Höhe erreicht, sie beträgt dann 24 St. 38′ 57″, und da der Mond in 24 St. 50′ 28″ sich bewegt, so antizipirt die Wiederkehr der Flut ziemlich 11′ vor dem Durchgang des Mondes durch den Meridian. In den Quadraturen hingegen, wo die Meereshöhe ihr Minimum erreicht hat, hat die Zwischenzeit zwischen zwei aufeinander folgenden Fluten ihren größten Werth erreicht, sie ist alsdann 24 St. 24′ 58″, und die Flut retardirt um 25′ hinter der Bewegung des Mondes. Diese Werthe entsprechen den mittlern Distanzen der Sonne und der Erde; die Veränderungen dieser Distanzen influiren auch auf die Verspätung der Flut von einem Tag auf den andern, so wie sie auch auf ihre Höhe Einfluß haben.

248. Außer den permanenten Ursachen, die auf Ebbe und Flut einwirken, sind auch die Winde, welche die Wellen in Bewegung setzen, zu berücksichtigen. Leider läßt sich hinsichtlich ihrer nichts voraussehen. Wenn sie die Einflüsse der Sonne und des Mondes auf die Höhe der Flut in den Aequinoktien verstärken, so können leicht Ueberschwemmungen die Folge sein. Es ist daher gut, daß die Theorie im Stande ist, die Epoche im Voraus zu bestimmen, wo diese Phänomene eintreten, weil man dadurch so viel als möglich befürchteten Ereignissen vorzubeugen vermag. Die Berechnung der Höhe der Flut und der Stunden, in welchen sie eintritt, ist für die Schifffahrt von großem Nutzen; auch hat die Theorie in dieser Hinsicht eine Vollkommenheit erreicht, daß es ihr leicht ist, diese Zeitpunkte für einen bestimmten Ort auf mehre Jahre voraus anzugeben, wenn nicht etwa heftige Stürme oder ein anderer außerordentlicher Umstand die Ordnung der Natur aufheben. Die mathematische Theorie der Flut ist also in jedem Punkte mit den Beobachtungen übereinstimmend, einer der sprechendsten Beweise für das Gesetz der allgemeinen Schwere.*

* Man kann sich eine richtige Vorstellung von der Art machen, wie die Theorie auf die Erscheinung der Ebbe und Flut sich anwenden ließ, wenn man begreift, daß die Kraft, welche die Meeresflut in Bewegung setzt, durch den Cosinus eines Winkels ausgedrückt wird, welcher verhältnißmäßig mit der Zeit wächst; es erfolgt dann eine auf dieselbe Weise zunehmende partielle Flut; allein in dem Ausdruck der Höhe derselben können die Constante, welche die Zeit mit dem Zeichen cosinus multiplizirt, und der Coefficient des Cosinus, durch zufällig einwirkende Umstände die Werthe, die sie im Ausdruck der Kraft, welche die Flut hervorbringt, haben, sehr differiren. Die Einwirkungen der Sonne und des Mondes können in ähnlichen Serien entwickelt werden, und jedes Glied kann man so betrachten, als bewirke es eine partielle Flut; alle diese Einzelnfluten zusammen machen die Totalflut, und die Hypothese, auf welche sich die sie mit einander verbindende Gleichung stützt, bildet die mathematische Theorie von Ebbe und Flut; die Uebereinstimmung der daraus hervorgehenden Resultate mit der Beobachtung bestätigt ihre Untrüglichkeit.

Wir sind bisher von der Annahme ausgegangen, daß die Meere überall von gleicher Ausdehnung und Tiefe seien. Allein man begreift, daß lokale Umstände sowohl hinsichtlich der Höhe der Flut als der Stunden, in welchen sie eintritt, große Veränderungen herbeiführen müssen. So zeigt die Einwirkung der Sonne und des Mondes sich weit stärker auf einer Fläche von größerer Ausdehnung oder auf eine größere Zahl von Molekulen. Deßhalb sind auch Ebbe und Flut im Ocean weit beträchtlicher, hingegen im kaspischen, baltischen und mittelländischen Meer kaum merklich. Die Bildung der Küsten, die Böschung der Ufer, die Ungleichheit der Meerestiefe, haben gleichfalls auf die Höhe der Flut und auf die Zeit ihres Wiederkommens einen großen Einfluß. Gibt man aber auf die lokalen Umstände Acht, so erklären sich alle die Abweichungen, welche sich darbieten können, sehr leicht, und man gewinnt aus ihnen neue Beweise für die Zuverlässigkeit ihrer Theörie.

Atmosphärische Flut.

249. Die Einflüsse der Sonne und des Mondes auf Flut und Ebbe müssen auch in der Atmosphäre ähnliche Bewegungen hervorbringen. Wenn diese merkbar sind, so müssen sie durch Oscillationen im Barometer, deren Perioden dieselben sein werden, wie jene der Flut und Ebbe, sich kund geben, daher man auf dieses Instrument seit mehrern Jahren eine größere Aufmerksamkeit richtet. Leider ist die Ausdehnung der Oscillationen des Barometers, die von den Ursachen, welche die großen Veränderungen hervorbringen, denen er unterworfen ist, unabhängig sind, sehr gering, denn selbst am Aequator, wo sie am längsten ist, übersteigt sie kein $^1/_{1000}$ eines Meters. Das einzige Re-

sultat, welches bis jetzt durch Beobachtungen constatirt ist, das ist der tägliche Wechsel des Barometers, schon ein einziger Monat reicht hin, es zu manifestiren. Die größte Höhe findet um 9 Uhr Morgens und um 10 Uhr Abends statt, die kleinste Höhe um 3 Uhr Nachmittags und um 4 Uhr Morgens. Die Ausdehnung dieser Veränderungen ist nicht zu allen Jahreszeiten gleich. So fand man zu Paris, daß der Ueberschuß der größten Höhe des Barometers, welche der 9. Morgenstunde entspricht, über die kleinste, die der 3. Nachmittagsstunde entspricht, 0,762 M. betrug. Bouvard wurde durch Vergleichung zahlreicher Beobachtungen zu denken veranlaßt, daß die Ausdehnung dieser täglichen Veränderung, die unter dem Aequator und am Niveau des Meeres am größten ist, vom Aequator zu den Polen in gleicher Proportion mit dem Quadrat des Cosinus der Breite abnimmt, so daß unter sehr großen Breiten sie fast unmerklich ist, und an den Polen, wenn man bis dahin gelangen könnte, würde sie sich auf Null reduziren. Diese täglichen Veränderungen des Barometers hängen zweifelsohne von regelmäßigen Ursachen ab. Ihre durch den Sonnentag geregelten Perioden scheinen anzuzeigen, daß sie dem Einfluß der Sonne zuzuschreiben sind, aber von welcher Natur dieser Einfluß ist, konnte bis jetzt nicht ermittelt werden. Die atmosphärische Flut, die von der unmittelbaren Einwirkung der Sonne und des Mondes auf die Atmosphäre abhängt, muß denselben Gesetzen unterworfen sein, wie die Flut des Oceans, und wie dieser, so hat auch die Atmosphäre zwei partielle Strömungen, eine durch den Einfluß der Sonne, die andere durch den Einfluß des Mondes. Die Periode der Oscillationen des Barometers, welche von der Sonne herrührt, würde ½ Sonnentag dauern, folglich müssen die Oscillationen sich mit der täglichen Veränderung,

die von gleicher Periode ist, und deren Ausdehnung sie bloß mäßigen, confundiren, so daß es unmöglich scheint, sie zu trennen. Dies wäre jedoch mit der Strömung, die vom Mondeseinfluß herrührt, nicht der Fall, denn diese Periode dauert $\frac{1}{2}$ Mondentag, und ihre Existenz müßte sich durch Beobachtungen, die in verschiedenen Mondphasen vorgenommen wurden, manifestiren. So z. B. wenn das Minimum dieser Flut am Syzygientag um 9 Uhr Morgens eintritt, so würde das Maximum um 3 Uhr Nachmittags eintreten, das Gegentheil würde am Quadraturentag statt haben. Die Mondflut würde also im erstern Fall die tägliche Veränderung am Abend zunehmen lassen, im zweiten Fall sie abnehmen lassen, und die Differenz würde das Doppelte der atmosphärischen Mondflut sein. Daß dies beinahe unmöglich sei, zeigen alle Beobachtungen. So wurde Bouvard nach endlosen Rechnungen bei der Betrachtung von 298 Syzygien und eben so vielen Quadraturen zum Schlusse geleitet, daß die ganze Ausdehnung der von dieser Ursache herrührenden Oscillation, von ihrem Maximum bis zum Minimum 0,018 Millimeter betrage, und fand 2 St. 8′ nach Mittag für das Maximum des Syzygientages. Ein so geringes Resultat macht die Existenz selbst einer merklichen Oscillation des Barometers, welche von der unmittelbaren Einwirkung der Sonne oder des Mondes herrührt, sehr ungewiß, wenigstens für die Pariser Breite. * Zwei-

* Bemerken müssen wir hier jedoch, daß Flaugergues nach zwanzigjährigen, sehr genauen Beobachtungen ganz andere Resultate erzielte; er erkannte den Einfluß des Mondes auf den Druck der Atmosphäre sehr deutlich. Er bemerkt: 1) daß die ganze Ausdehnung der daraus während eines Mondmonats erfolgenden Veränderung in der Höhe des Barometers, gemäß der Position des Mondes bezüglich zur Sonne 1,67 Millimeters sein würde; 2) daß der Einfluß des Mondes stärker sein würde, wenn seine Deklination südlich ist, als wenn sie nördlich wäre, was mit den Beobachtungen der Flut im Ocean ganz conform ist; 3) daß der Ueber-

felsohne würde eine größere Zahl von Beobachtungen am Aequator, wo die Einflüsse der beiden Himmelskörper am merklichsten sein müssen, das sicherste Mittel sein, um uns über diesen Punkt aufzuklären.

Da, wie man sieht, der Einfluß des Mondes auf die atmosphärische Strömung so unmerklich ist, muß der Einfluß der Sonne, welcher aus oben angeführtem Grunde dreimal schwächer ist, gar nicht abschätzbar sein. Man sollte also glauben, daß die täglichen Veränderungen des Barometers zwar von dem Einfluß der Sonne abhängig sind, aber nicht von ihrer Anziehungskraft, sondern von ihrer erwärmenden Kraft. Wäre dies Letztere die Ursache des Phänomens, so ließe sich durch die Rechnung hier nichts ausrichten, und die Theorie sähe sich darauf beschränkt, die Thatsachen aufzuzeichnen, ohne im Stande zu sein, sie vorauszubestimmen oder auch nur zu bewahrheiten.

schuß der Höhe des Barometers, die der Einwirkung des Mondes in seinem Perigeum zugeschrieben wird, über jene, welche in seinem Apogeum statt hat, 1,10 Millimeter wäre. Der Zeit ist es vorbehalten, die Zweifel, die aus diesen sich widersprechenden Resultaten hervorgehen, aufzuhellen.

Dreizehntes Kapitel.

Von den eigenen Bewegungen der Sterne.

Transferirende Bewegung des Sonnensystems. — Bewegungen, die man an Doppeltermen beobachtete. — Einfluß der Sterne auf das Planetensystem.

250. Im dritten Kapitel hatten wir gesehen, daß die Unbeweglichkeit der Sterne nicht buchstäblich angenommen werden darf, daß die Beobachtung an mehren derselben eine eigene Bewegung erkannte. Wir hatten aber damals bemerkt, daß diese Erscheinungen nur eine optische Täuschung seien, welche uns den Sternen die transferirende Bewegung, von welcher das Sonnensystem selbst beseelt wird, in entgegengesetzter Richtung andichten läßt. In der That, wenn wir die Positionen der verschiedenen Sterne zu jenem in Beziehung bringen, gegen welchen wir die Sonne zugewendet annehmen, so ist leicht zu sehen, daß nach Verhältniß unserer Annäherung zu diesem Gestirn die andern Sterne sich davon zu entfernen scheinen müssen, die einen in dieser, die andern in jener Richtung. Man wird also von den eigenen Bewegungen, die an den verschiedenen Sternen beobachtet wurden, auf die wirkliche Bewegung des Sonnensystems schließen dürfen. So erkannte man, daß die Sonne und ihr ganzes Gefolge von Sternen gegen die Constellation des Herkules sich vorwärts bewege, und zwar mit einer Schnelligkeit, die mindestens jener der Erde in ihrer Bahn gleich kommt. Die Beob-

achtungen, welche unser Vertrauen verdienen, beschränken sich allerdings auf eine zu kurze Zeit, um über einen so wichtigen Punkt des Weltsystems ein sicheres Urtheil zu gestatten, aber die merkwürdige Uebereinstimmung zwischen den beobachteten Richtungen in den eigenen Bewegungen einer großen Anzahl Sterne, und ihrer Position in Bezug zur Erde, gibt der Hypothese von einer transferirenden Bewegung des Sonnensystems einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit.

251. Wir haben gesehen, daß außer diesen, einer großen Anzahl von Sternen, gemeinsamen Bewegungen man auch in einigen Sternenhaufen, die uns sehr nahe sind, eigene Bewegungen erkannte, welche seit dem Anfang dieses Jahrhunderts mit großer Aufmerksamkeit erforscht werden. Die Sterne jeder Gruppe bilden besondere Systeme, deren Dimensionen im Verhältniß zu den sie von andern Sternen trennenden Distanzen sehr klein sind. Auch scheinen sie sich um respektive Schwerpunkte zu drehen. Wir hatten zwar zu zeigen versprochen, wie man die Bewegungen mehrer Doppelsterne zu bestimmen vermochte, in welchen die Beobachtung eine umdrehende Bewegung des kleinern Sterns in dem größern erkannt hat; aber der beschränkte Raum hindert uns, an der Erfüllung dieses Versprechens. Wir werden also bloß sagen, daß durch Anwendung des Gravitationsgesetzes auf die eigene Bewegung der Sterne man dahin gelangt ist, von den Erscheinungen, die ihre Bewegung darbietet, sich Rechenschaft zu geben (s. Savary Connaissance des Temps pour 1830).

Diesem Gesetze zufolge, daß die Bewegung des kleinern Sterns um den größern eine Ellipse sei, bestimmt man die Dimensionen durch Vergleichung der Formeln der Theorie mit der Beobachtung; und könnte man das Verhältniß der großen Axe dieser Ellipse zur Distanz der Erde von der Sonne abschätzen,

so würde man, wenn die Umlaufszeiten bekannt wären, auf das Verhältniß der Summe der Massen beider Sterne zu jener der Sonne schließen. So umfaßt auch das Prinzip der allgemeinen Schwere nicht bloß die Körper unseres Planetensystmes, es erstreckt sich auch auf jene Sterne, deren Distanz unsere Einbildungskraft schwindelnd macht, und die Sterne werden gegenseitig von einander angezogen, indem sie in ihren Umlaufszeiten, die für manche Sterne mehre Jahrhunderte betragen, unermeßliche Bahnen beschreiben.

252. Obschon diese Sterne sehr weit von uns entfernt sind, so mögen sie doch auf unser Planetensystem einigen Einfluß äußern. Die Analyse hat aber auf diese Frage sehr beruhigend geantwortet, indem sie bewiesen hat, daß die Einwirkung der Sterne auf das Sonnensystem wahrscheinlich für immer unabschätzbar sein wird, und sollte sich je ein Einfluß bemerkbar machen, so können bis dahin Millionen Jahre verfließen. (Théorie analytique du Systeme du Monde. T. III. p. 17.)

Bayerische Staatsbibliothek München

Vierzehntes und letztes Kapitel.

Vermuthungen über die Bildung der Sonne und der Planeten.

Allgemeine Schlüsse aus dem Gravitationsgesetz. — Buffons Hypothese. — Herschel über Nebelflecken. — Hypothese des Laplace. — Bildung der Planeten und Satelliten. — Bestimmung der Kometen. — Allgemeine Betrachtungen. — Schluß.

253. In der ersten Abtheilung dieses Werkes hatten wir die Sterne in verschiedenen Klassen abgetheilt, dann jeder derselben ein besonderes Studium gewidmet, indem wir ihre wirklichen Bewegungen von den scheinbaren zu sondern suchten. Nachdem wir jedem Himmelskörper seinen wirklichen Platz angewiesen, zeigten wir in dieser zweiten Abtheilung, wie man von der Kenntniß der Bewegungen der Himmelskörper zu den Ursachen, die sie hervorbrachten, zurückging; und so kamen wir dahin, alle Körper wie den Brennpunkt einer Anziehungskraft zu betrachten, die in gleicher Proportion zu ihren Massen zunimmt, und im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Distanzen abnimmt. Diese Hypothese erklärt die vornehmsten Phänomene des Sonnensystems, die Bewegung der Schwerpunkte der Himmelskörper um den Brennpunkt der sie beseelenden Kräfte, ihre Bewegung um ihre respektiven Schwerpunkte, endlich ihre Gestalt und die Oscillationen der sie bedeckenden flüssigen Substanzen. Alle diese Phänomene, vor der Entdeckung des Gravitations-

gesetzes als isolirt scheinend, sind durch dieses große Naturgesetz mit einander so eng verbunden, daß man überzeugt ist, wie sie getrennt nicht existiren könnten. Ebenso ist die dreifache Bewegung der Erde, die Kopernik ersann, um die scheinbaren Bewegungen der Sonne und der Sterne zu erklären, im Attraktionssystem das einfache Resultat einer Impulsionskraft, deren Richtung nicht durch den Schwerpunkt des Erdsphäroids gegangen wäre. Vermöge dieser Kraft dreht sich die Erde in einer elliptischen Bahn um die Sonne, und gleichzeitig hat sie eine gleichförmige drehende Bewegung um ihren Mittelpunkt, die aus dieser Bewegung resultirende Centrifugalkraft gibt ihr eine gegen die Pole abgeplattete Gestalt, und die Einwirkung von Sonne und Mond auf dieses Sphäroid hat ihrer Drehungsaxe um die Pole der Ekliptik jene Bewegung gegeben, welche die Präcession und Nutation bewirkt. Alle Bewegungen der andern Himmelskörper und ihre scheinbaren Ungleichheiten gehen aus demselben Gesetz hervor und sind eine logische Consequenz der Bewegung der Erde.

Das Prinzip der Schwere reicht hin, um alle Veränderungen der elliptischen Bewegung der Planeten, Kometen und Satelliten zu erklären. Diese Veränderungen sind von zweierlei Art. Die einen sind von den respektiven Positionen der verschiedenen Körper des Systems abhängig und nehmen stets dieselben Werthe an, wenn es zu derselben Configuration zurückkehrt, sie haben nur temporäre und so zu sagen alternative Wirkung; die andern hingegen, welche sich an die Elemente selbst anreihen, welche die Gestalt und Position der Planetenbahnen bestimmen, lassen sie in unmerklichen Abstufungen eine Reihe von Jahrhunderten variiren, und man hat befürchten zu müssen gemeint, daß die Dauer des Systems einmal eine Aenderung erleiden werde. Die Analyse

hat diese Besorgnisse verscheucht. Die Unveränderlichkeit der mittlern Distanzen der Planeten von der Sonne und die engen Grenzen, in welchen die Veränderungen der Excentricitäten und die Neigungen ihrer Bahnen stets eingeschlossen bleiben werden, bezeugt die Erhaltung des Planetensystems in einem Zustand, welcher seinem wirklichen nahe ist, die Bahnen oscilliren bloß um einen mittlern Stand der Ellipticität und um Neigungen, von welchen sie sich nur in sehr kleinen Größen jemals entfernen könnten.

Die mittlern planetarischen Bewegungen sind unveränderlich wie die großen Axen, von denen sie sich, nach Keplers drittem Gesetz, herleiten, was die constante Dauer ihrer siderischen Umläufe und jene des siderischen Jahres insbesondere bezeugt. Die mittlere Bewegung des Mondes ist allein einer sekulären Ungleichheit unterworfen, welche der Beobachtung nicht entging und welche in der Folge der Zeit sich bis auf mehre Circumferenzen steigern kann; allein die daraus resultirende Beschleunigung wird sich, nachdem sie mehre Jahrhunderte im Zunehmen begriffen war, in eine langsamere Bewegung umwandeln, und auf diese Art durch successive Abnahme zu ihrem mittlern Stand zurückkehren. Im Allgemeinen sind alle sekulären Ungleichheiten periodisch, so wie die andern planetarischen Ungleichheiten. Sie differiren bloß insofern, als ihre Perioden unendlich länger sind. Die Neigungen der planetarischen Aequatoren gegen ihre respektiven Bahnen sind im Allgemeinen sehr klein, und die Ungleichheiten, welche sie affektiren, indem sie im Laufe der Zeiten sich enthüllen, führen nur wenig beträchtliche Veränderungen herbei. So z. B. wird die Schiefe der Ekliptik stets wie heute bleiben, eine Bedingung, welche die Ordnung der Jahrszeiten und der Temperatur auf der Erde und auf den Planeten für alle Zeiten sichert (Art. 230).

Endlich verbürgt die Gleichförmigkeit der drehenden Bewegung der Erde die Beständigkeit der Tageslänge, ebenso wie die Permanenz der Pole auf der Oberfläche der Erde und die Erhaltung des Gleichgewichts der Meere unsere Besorgnisse vor einer allgemeinen Ueberschwemmung zerstreuen. (Art. 218).

254. Die Beschaffenheit des Sonnensystems, welche seine Dauer verbürgt, war, wie Lagrange sagt, zugleich geeignet, die Anwendung der mathematischen Analyse zu erleichtern. Jede der beobachteten planetarischen Ungleichheiten läßt sich mit überraschender Präcision aus dieser Analyse herleiten; zuweilen war es sogar der Theorie vergönnt, der Beobachtung vorauszueilen und neue Ungleichheiten anzuzeigen, die durch ihre Verwicklung und durch die Langsamkeit ihrer Entwickelung erst nach Jahrtausenden von der Beobachtung bemerkt worden wären. Der Mathematiker kann durch den Beistand einer kleinen Anzahl von Materialien, die er von der praktischen Astronomie entlehnte, in seine Formeln die Bewegungen aller Himmelskörper einschließen und die entferntesten Schicksale des Planetensystems von der Schöpfung an bis in die späteste Zukunft vorhersagen. Alle diese Consequenzen haben ihre Quelle in Newtons Gravitationsgesetz, dessen Kenntniß die Theorie des Weltsystems zur sublimsten aller Naturwissenschaften erhob.

Man begnügte sich aber nicht auf dieser Höhe der Erkenntniß angekommen zu sein, man wollte jetzt auch das Mysterium der Bildung der Himmelskörper erforschen, kurz: im Geiste zur Weltschöpfung zurückkehren.

Buffon war der Erste, welcher eine so kühne Frage aufwarf. Seine Ideen über die primitive Bildung der Planeten und Satelliten würden heute

keinen Beifall mehr finden, aber man darf sie nicht unerwähnt lassen, denn auch die Irrthümer des Genies fördern die Wissenschaft, indem sie zum Selbstdenken anreizen und auffordern, bessere Wege der Spekulation zu bahnen. Buffon nimmt an, daß der Stoß eines Kometen, welcher schräge gegen die Sonne stürzte, einen Theil seiner Materie weiterhin in den Raum schleuderte, gleichwie ein in ein Bassin geschleuderter Stein das Wasser aufsprudeln macht. Dieser vom Kometen abgeschleuderte Stoff hätte sich in mehre Stücke zersplittert, welche zufolge dem Impuls, den sie erhalten hatten, in verschiedenen Distanzen von der Sonne haften blieben, später concentrirten sie sich durch die drehende Bewegung zu Kugeln, und indem sie durch Abkühlung sich verdichteten, wurden sie dunkle und feste Körper, Planeten und Monde.

Dieses System erklärt einfach die Einheit der Richtung, welche die transferirende Bewegung der Planeten nimmt, die, wie man weiß, alle von West nach Ost, sich um die Sonne drehen. Dies gilt aber nicht zugleich von der drehenden Bewegung, und man findet keinen Grund, warum diese Bewegung in dieser Richtung und nicht in der entgegengesetzten vor sich geht? Nun hat aber die Beobachtung angezeigt, daß eine Identität der Richtung in der transferirenden und in der drehenden Bewegung der Planeten und Satelliten statt habe.* Man sieht auch nicht ein, warum die Planetenbahnen beinahe kreisförmig und in einen engen Streif der Himmelssphäre eingeschlossen sind, während die Kometen in sehr excentrischen Bahnen und unter beliebigen Neigungen zur Ekliptik sich bewegen? Buffons Hypothese konnte auf diese Fragen nicht befriedigend antworten, und ist daher längst antiquirt.

* S. Theil III. S. 99.

255. Laplace versuchte uns auf einem andern Wege zu der wahren Ursache zurückzuführen. Sein System hatte Herschels Arbeiten über die Nebelsterne zur Grundlage. Bekanntlich nennt man so jene weißlichen Flecken, die man an verschiedenen Theilen des Himmels bemerkt, von dem sie eine große Strecke einnehmen. Einige reflektiren nur ein schwaches und beinahe gleichförmiges Licht, sie sind nur eine neblige Materie und sehen fast zerflossen aus. Andere zeigen schon einen etwas dichtern Stoff, der sich um einen glänzenden Kern lagert, endlich trennen sich die Atmosphären eines jeden Kerns und zeigen eine noch größere Verdichtung. Diese verschiedenen Arten, welche den Uebergang vom Nebligen zum Festen darstellen, haben verschiedene Klassifikationen derselben nothwendig gemacht. Herschel wollte in ihnen die successive Ausbildung der Sterne erkennen. Die fortschreitende Verdichtung derselben würde uns erst nach Jahrhunderten sie bemerkbar machen. Allein das Studium jedes einzelnen gewährt einen Blick über die stufenweise Vervollkommnung des Sterns, wie der Naturforscher in mehrern Individuen, die auf verschiedenen Altersstufen stehen, die successive Ausbildung eines organischen Wesens kennen zu lernen vermag. Weil nun die aufmerksame Beobachtung der Nebelflecken ihre Umbildung in Sterne anzuzeigen scheint, so glaubt man durch Analogie annehmen zu dürfen, daß auch unsere Sonne ursprünglich ein nebliger Stoff gewesen, der durch allmählige Verdichtung seine jetzige Gestalt erhielt. Im Anfang der Dinge wäre sie von einer Atmosphäre umgeben gewesen, die vermöge einer außerordentlichen Hitze sich über die Bahnen aller Planeten ausgedehnt und allmählig sich in ihre jetzigen Grenzen zurückgezogen habe. Diese Atmosphäre, die man sich mit einer drehenden Bewegung um ihren Schwerpunkt begabt denken

kann, sei nun diese Bewegung eine Folge der reciproken Attraktion aller ihrer Theile, oder war sie ihr schon ursprünglich mitgetheilt worden, mußte, durch die Abkühlung sich immer mehr verdichtend, Zonen von Dampf in der Ebene ihres Aequators zurücklassen. Diese Zonen begannen in der Form von concentrischen Ringen, deren flüchtigere Molekulen den obern Theil, die dichtern aber den unteren bildeten, sich um die Sonne zu drehen. Wären alle Nebelflecke, aus welchen diese Ringe bestehen, sich abzukühlen fortgefahren, ohne sich zu separiren, so würden sie endlich einen flüssigen oder festen Ring gebildet haben. Ein solches Beispiel bietet das Sonnensystem aber nur in der vereinzelten Erscheinung des Saturnrings. Im Allgemeinen mußte der Ring sich in mehre Stücke zerbröckeln, welche dann besonders ihre Umdrehungen um die Sonne fortgesetzt hätten und zwar mit gleicher Geschwindigkeit und in gleich weiter Entfernung von der Sonne, dies alles gleichzeitig, wo sie durch die Wirkung ihrer Separation eine drehende Bewegung um den eigenen Schwerpunkt erlangt hätten. Und da die Molekule des obern Theils des Ringes, d. h. die vom Mittelpunkt der Sonne entferntern, nothwendig eine absolut größere Geschwindigkeit als die Molekulen des untern Ringtheils besäßen, so mußte die drehende Bewegung, die allen Bruchstücken gemeinsam, stets dieselbe Richtung nehmen wie jene der transferirenden Bewegung.

Demungeachtet würden sie, wenn nach ihrer Trennung eines dieser Fragmente sich vor den andern mächtiger gezeigt hätte, daß es sie durch Attraktion mit sich vereinigt hätte, nur eine einzige Masse von Dünsten gebildet haben, die durch fortwährende Reibung ihrer Theile und durch die Gesetze des Gleichgewichts flüssiger Substanzen in Verbindung mit jenem der drehenden Bewegung die Form eines an

den Polen abgeplatteten, in der Richtung des Aequators länglichten Sphäroids angenommen haben. Das waren also Ringe von Dunst, die durch successives Zurückziehen der Sonnenatmosphäre in eben so viele Planeten verwandelt wurden, die noch in ihrem Dunstzustande um die Sonne kreisten, und mit einer drehenden Bewegung in der Richtung ihrer Umwälzung begabt waren. Dieser Fall konnte der gewöhnliche sein, allein jener, wo die Fragmente irgend eines Ringes mehre deutliche Planeten, mit verschiedener Geschwindigkeit beseelt, gebildet hätten, konnte sich auch verwirklichen, und die vier teleskopischen Planeten, die erst in diesem Jahrhundert entdeckt wurden, scheinen ein Beispiel davon zu geben; mindestens muß mit Olbers zugegeben werden, daß sie die leuchtenden Trümmer eines einzigen Planeten sind, den eine starke innere Bewegung zersplittert hat.

Man kann sich von den successiven Verwandlungen, welche die Abkühlung der Planeten zur Folge haben mochte, leicht eine Vorstellung machen. Jeder dieser Planeten ist im Zustande des Verdunstens auch wirklich einem Nebelstern in seiner ersten Schöpfung auffallend ähnlich. Die Sterne müssen also, bevor sie ihre Eigenschaft der Unbeweglichkeit annehmen, alle Abstufungen der Umbildung durchgehen, die wir an der Sonne verfolgen können. Zuerst wird die Verdichtung ihrer Atmosphäre um den Mittelpunkt des Planeten einen Kern bilden, welcher aus übereinandergelegten Schichten von verschiedener Dichtigkeit bestehen wird, die dichtern Stoffe müssen sich zufolge ihrer Schwere dem Mittelpunkte nähern und die flüchtigsten die Oberfläche gewinnen, wie man dies an einem Glase beobachten kann, in welchem sich verschiedene Flüssigkeiten befinden. Die Atmosphäre eines jeden Planeten wird, wie jene der Sonne, indem sie sich zurückzieht, Dunst-

streifen hinter sich lassen, welche einen oder mehre sekundäre Planeten bilden können, die um ihren Hauptplaneten kreisen wie der Mond um die Erde, oder sie werden, indem sie auskühlen, ohne sich zu trennen, einen festen und fortlaufenden Gürtel bilden, wie wir an dem Saturnring sehen. In allen Fällen wird die Richtung, welche die drehende und transferirende Bewegung der Satelliten oder des Ringes nimmt, dieselbe des Planeten sein, und wirkich wird dies Alles von der Beobachtung bestätigt.

Das überraschende Zusammentreffen aller planetarischen Bewegungen, was Niemand für ein Werk des Zufalls halten wird, geht in Herschels genialer Hypothese aus der Bildung des Sonnensystems hervor. Man begreift dann auch, warum die Bahnen der Planeten und Satelliten so wenig excentrisch sind und nur unbedeutend sich von der Ebene des Sonnenäquators entfernen. Eine vollkommene Harmonie zwischen der Dichtigkeit und der Temperatur ihrer Molekulen im Zustand des Verdunstens würde die Bahnen ganz kreisförmig gemacht und sie mit der Ebene dieses Aequators haben zusammentreffen lassen. Da aber diese Regelmäßigkeit unter allen Theilen so beträchtlicher Massen nicht existiren konnte, so mußten die kleinen Excentricitäten der Bahnen der Planeten und Satelliten, so wie ihre Abweichung von der Ebene des Sonnenäquators die Folge davon sein.

Wenn in den Streifen, welche die Sonnenatmosphäre hinter sich ließ, allzuflüchtige Molekulen sich vorfanden, welche Eigenschaft sie an ihrer Vereinigung unter einander oder mit den Planeten hinderte, so müssen sie sich um diesen Stern zu drehen fortfahren, ohne irgend einen merklichen Widerstand den Bewegungen der planetarischen Körper entgegenzusetzen, sei es nun wegen ihrer außerordentlichen

Feinheit, oder weil ihre Bewegung sich in derselben Richtung effektuirt, wie jene der ihnen begegnenden Himmelskörper. Diese umherschweifenden Molekulen müssen uns also alle Erscheinungen des Zodiakallichts darbieten.

Wir werden sehen, daß die Figur der Himmelskörper eine nothwendige Folge ihrer ursprünglichen Flüssigkeit sein mußte. Die strenge Gleichförmigkeit in den Bewegungen eines jeden Satelliten, die auch Ursache ist, daß der Mond uns nie seine andere Seite zeigt, ist ebenfalls eine einfache Consequenz dieser Hypothese. Nimmt man an, daß irgend eine Differenz zwischen der mittlern drehenden und Umwälzungsbewegung des Mondes, als er noch im dunstenden oder flüssigen Zustand war, existirt habe, so mußte die Attraktion der Erde anfänglich das Mondsphäroid in der Richtung seiner gegen die Erde gekehrten Axe verlängern. Dieselbe Attraktion mußte dahin streben, die Differenz, welche zwischen beiden Bewegungsformen des Mondes herrschte, zu vermindern, und zwar so, daß sie sie in enge Grenzen einschloß, was zur Folge hatte, daß die Axe des gegen die Erde gerichteten Mondäquators nur einer Art von periodischem Schwanken unterworfen blieb, was wir das Phänomen der Libration nennen.

256. Die vornehmsten Erscheinungen des Planetensystems erklären sich also durch diese Hypothese mit außerordentlicher Leichtigkeit; und fügt man hinzu, daß diese successiven Umbildungen einer Nebelmasse und der Verlust eines Theils ihrer Substanz durch Erkaltung, mit den Gesetzen der Mechanik sich wohl vertragen, so erhält diese Hypothese einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit. Ihr zufolge ging die Bildung der Planeten nicht gleichzeitig vor sich, sie wurden nach und nach in Zwischenpausen von mehrern Jahrhunderten geschaffen, die ältesten sind von der Sonne am meisten entfernt

und die Satelliten sind jünger als ihre respektiven Planeten. Wäre es uns möglich, durch die Untersuchung der Beschaffenheit eines jeden Planeten zu seiner Bildungsepoche zurückzugehen, so könnte man leicht den Himmelskörpern ihre Altersstufen in dieser Chronologie des Universums bezeichnen.

Man sieht auch, daß die Geschwindigkeit der transferirenden Bewegung eines jeden Planeten von jener wenig differirt, welche die drehende Bewegung der Sonne hatte, zur Zeit, als sich der Planet aus ihrer Atmosphäre ablöste. Und da die drehende Bewegung in gleichem Verhältniß sich beschleunigte, als die Molekulen der Sonne durch Abkühlung sich zusammenzogen, damit die Summe der von ihnen um den Schwerpunkt beschriebenen Flächen stets dieselbe bleibe, so folgt daraus, daß die Umwälzungsbewegung um so schneller sein muß, je näher der Planet der Sonne ist, was die Beobachtung anzeigt. Daraus resultirt ferner, daß die Umlaufszeit, sei es nun die der Sonne oder eines Planeten, viel kürzer sein muß als die Umlaufszeit des nächsten Himmelskörpers, welcher um diese Gestirne kreist, was die Beobachtung vollkommen bestätigt, sogar in den Umständen, wo die Differenz zwischen der Dauer der beiden Beobachtungen sehr klein sein muß. Ebenso müßte die Drehungszeit des innern Saturnrings, weil er dem Planeten näher, ziemlich gleich sein, aber seine Drehungszeit ist etwas länger als die des Planeten. Herschels Beobachtungen geben auch wirklich 0,432 Tage für die Drehungszeit des Ringes und 0,427 Tage für jene des Planeten an. Wie sollte man da nicht zugeben, daß der Ring durch Verdichtung der Saturnsatmosphäre entstanden sei, welche längst schon bis auf ihn sich erstreckt hatte?

In diesem Systeme, wie in jenem, welches Buffon entwarf, ist die besondere Form der Planeten,

die Senkung der Pole und die Bauchung des Aequators eine nothwendige Folge der Gesetze des Gleichgewichts der Flüssigkeiten, und man erklärt ohne Schwierigkeit die meisten von den Geologen in der Beschaffenheit der Erdkugel beobachteten Phänomene, welche unerklärbar schienen, wenn man nicht zugeben will, daß die Erde und die Planeten ursprünglich flüssig waren.

257. Sehen wir nun, welchen Ursprung und welche Bestimmung diese Hypothese den Kometen anweist. Laplace hält sie für dem Planetensystem fremdartige Körper und ihm sind sie ein Dunsthaufen, gebildet aus der Ansammlung einer leuchtenden Materie, die auf allen Seiten des Universums verbreitet ist und planlos in den verschiedenen Sonnensystemen umherschweift. Die Kometen wären also in Beziehung zum Sonnensystem, was die Aerolithen in Beziehung zur Erde, mit welcher sie ursprünglich in keiner Connexion standen. Wenn ein Komet den Regionen unseres Sonnensystems sich allzusehr nähert, so zwingt ihn die Attraktion der Sonne, in Verbindung mit der erlangten eigenen Geschwindigkeit, eine elliptische oder hyperbolische Bahn zu beschreiben. Da aber die Richtung dieser Geschwindigkeit willkürlich ist, so müssen die Kometen in den verschiedensten Richtungen und nach allen Seiten des Himmels sich bewegen. Die Kometenbahnen könnten demnach alle Neigungen gegen die Ekliptik haben, und diese Hypothese erklärt gleich sehr die Ursache ihrer großen Excentricitäten. In der That, wenn die Curven, welche die Kometen beschreiben, Ellipsen sind, so müssen sie sehr länglich sein, weil ihre großen Axen mindestens dem Halbmesser der Thätigkeitssphäre der Sonne gleich sind, und wir bemerken daher nur diejenigen dieser Gestirne, deren Excentricitäten sehr groß sind, und deren perihelische Distanz unbeträchtlich ist, die andern hingegen, wegen

Kleinheit und Entfernung, müssen stets unsichtbar sein, wofern nicht der Widerstand des Aethers, die Attraktion der Planeten oder andere unbekannte Ursachen ihre periheliſche Distanz verringern und sie der Erdbahn näher bringen. Dieselben Ursachen konnten die primitiven Bahnen einiger Kometen in den Ellipsen verändern, von welchen die großen Axen weit weniger beträchtlich sind; und dies konnte den periodischen Kometen von 1759, 1819 und 1832 begegnet sein. Die Gesetze der Bewegung krummer Linien zeigen außerdem, daß die Excentricität der Bahn hauptsächlich von der Richtung der Bewegung des Kometen bei seinem Eintritt in die Thätigkeitssphäre der Sonne abhängt, und da diese Bewegung in allen Richtungen möglich ist, so gibt es für die Größe der Excentricitäten der Kometenbahnen gar keine bestimmten Grenzen.

Wenn, als die Planeten sich bildeten, einige Kometen in die Atmosphäre der Sonne und in die der Planeten eingedrungen wären, so mußte der Widerstand, den sie erfuhren, die Geschwindigkeit, mit welcher sie begabt sind, stufenweise zerstören. Sie mußten endlich, indem sie Spirallinien beschrieben, auf diese Körper fallen, und ihr Sturz bewirkte, daß sie die Ebenen der Bahnen und der Aequatoren der Planeten von der Ebene des Sonnenäquators entfernten. Zum Theil war es also diese Ursache, zum Theil die obenerwähnte, welcher man die leichten Abweichungen zuschreiben muß, die an ihnen bemerkt werden.

258. Dies ist Laplace's Hypothese über den Ursprung des Sonnensystems. Sie erklärt am befriedigsten die drei merkwürdigsten Phänomene, welche die planetarischen Bewegungen uns darstellen:

1) die Bewegung der Planeten, in derselben Richtung und ziemlich in derselben Ebene;

2) die Bewegung der Satelliten in derselben Richtung wie die Planeten;
3) das sonderbare Zusammentreffen in der Richtung beider Bewegungsformen der Planeten und der Sonne, was in den andern Systemen unauflösbare Schwierigkeiten darbieten würde.

Die nicht minder merkwürdigen Phänomene der Kleinheit der Excentricitäten sind ebenfalls eine nothwendige Folge davon, während man gleichzeitig auch sieht, warum die Kometenbahnen sich von diesem allgemeinen Gesetz entfernen und sehr excentrisch sein können, und einige Neigungen gegen die Ekliptik haben. Die Abplattung der Gestalt der Planeten, welche auf der Erde sich durch die Zunahme der Grade des Meridians und durch die regelmäßige Zunahme der Schwere vom Aequator nach den Polen verräth, ist das Resultat der Attraktion ihrer Molekulen, als sie noch im Verdunstungszustand waren, in Verbidung mit der Centrifugalkraft, die durch die der flüssigen Masse imprimirte drehende Bewegung hervorgebracht wurde. Endlich findet man unter allen Phänomenen, welche die Bewegungen und die Gestalt der Himmelskörper uns darbieten, auch nicht eins, das sich nicht mit außerordentlicher Leichtigkeit durch successive Verdichtung der Sonnenatmosphäre erklären ließe, und jemehr man alle Einzelnheiten dieses Systems durchforscht, desto mehr ist man zur Anerkennung seiner Wahrscheinlichkeit getrieben.* Was aber diesem System zu dem meisten Ansehen verhilft, das ist die Identität, welche es zwischen der Bildung des Sonnensystems und den Sternen nachweist, die im weiten Himmelsraume zerstreut sind.

* Hier konnte nur ein Resumé der Ideen Laplace's über die Bildung des Sonnensystems gegeben werden, wer die weitere Auseinandersetzung dieser genialen Hypothese zu lesen wünscht, den müssen wir auf die „Exposition du Systeme du monde“ selbst verweisen.

Alles, was in der Natur sich ereignet, fließt aus einer kleinen Zahl allgemeiner und einfacher Gesetze her. Ihren geheimen Zusammenhang aufzufinden, ist die Aufgabe des Genies, das allein die Analogie unter denselben entdecken wird. Von einem einfachen Naturgesetze wird es auf Erscheinungen zurückgehen, deren besondere Eigenthümlichkeiten sie uns complicirter vorkommen lassen. Auf diese Art hatte Newton durch die Gesetze der elliptischen Bewegung der Planeten das Gravitationsgesetz entdeckt, welches das Weltall in seinen Fugen hält, das er in den einfachen Phänomenen der drehenden Bewegung der Erde, der Ebbe und Flut ꝛc. nicht erkannt hatte. Als aber dieses Naturprinzip einmal entdeckt war, wurden alle Umstände der planetarischen Bewegungen ins Einzelne verfolgt, und die ewige Dauer des Sonnensystems war auch nur eine strenge Consequenz seiner Conformation. Indem Laplace die successive Verdichtung der Nebelflecken auf alle Sterne, folglich auch auf die Sonne ausdehnte, entdeckte er zugleich den Ursprung des Planetensystems, indem er das Attraktiongesetz mit den ersten Gesetzen der Bewegung in Verbindung brachte. So gab er dem Gravitationsgesetz nur eine größere Wirksamkeit, und unstreitig ist es die einzige Ursache der Schöpfung der physischen Welt nicht nur, sondern auch ihres Fortbestehens.

Buffons Hypothese von dem in die Sonne stürzenden Kometen zeigt sich schon darum als unhaltbar, weil erstlich es eines Kometen von gleicher Größe wie sämmtliche Planeten und Satelliten erfordert haben würde, um ihre Entstehung nach seiner Art sich zu erklären. Um aber die Bildung der zahllosen im Raume zerstreuten Planetensysteme — die sich um ihre eigenen Sonnen drehen, welche uns als das Sternenheer erscheinen — zu erklären, hätte es zahlloser Kometen von gleich fabelhafter Größe wie

des erstgedachten bedurft. Ein solcher an sich schon unglaublicher Zufall kann sich noch weniger in dieser Unzahl wiederholt haben. Das Prinzip allmähliger Verdichtung der Atmosphäre der Nebelflecken ist das allein denkbare, um die Entstehung der Himmelskörper zu erklären.

Wie nun von Kepler (de stella Martis) die Attraktionstheorie geahnt, von Newton aber entdeckt wurde, so ist zu hoffen, daß die Hypothese des Laplace einen spätern Denker zu weitern Forschungen anregen wird, damit Seneca's (Qu. Nat. VII.) Weissagung sich noch erfülle: „Die Zeit wird kommen, wo die tiefsten Geheimnisse der Natur uns enthüllt werden, und die Nachwelt wird staunen, daß eine so einfache Erklärung der erhabensten Phänomene uns Jahrtausende hindurch verborgen geblieben ist."

Anmerkungen.

Anmerkung I.

Formeln, um die Rektascensionen und Deklinationen in Längen und Breiten zu verwandeln, und umgekehrt.

(Theil I. Seite 109.)

Wäre in der Figur 105 ADOM der Aequator, ACBD die Ekliptik, AB die Aequinoktiallinie, L der Ort des Mondes oder sonst eines Gestirns, so wird, wenn man die Bogen LH und LJ respektive senkrecht vom Aequator und der Ekliptik herabzieht, LH die Deklination des Gestirns, AH seine Rektascension vom Aequinoktium gerechnet, LJ seine Breite und A seine Länge sein.

Die Position des Gestirns am Himmelsgewölbe ist gleichmäßig durch das eine oder andere System der Coordinaten bestimmt, da man aber direkt nur die Rektascension und Deklination beobachtet, weil die Instrumente, welche zur Bestimmung der Länge und Breite dienen würden, sehr schwer zu verifiziren wären, so ist man genöthigt, die beobachteten Rektascensionen und Deklinationen in Längen und Breiten zu verwandeln, um sie in die Rechnung aufnehmen zu können, ein Verfahren, das in der Astronomie gewöhnlich angewendet wird.

Sei nun AR die Rektascension eines Gestirns, D seine Deklination, l seine Länge, λ seine Breite, ω die Schiefe der Ekliptik, so daß man hätte:

$AH = AR$, $LH = D$, $AJ = L$, $LJ = \lambda$; $HAJ = \omega$, so handelt es sich, da die drei Größen AR, D, ω gegeben sind, nur noch darum l und λ aufzufinden. Zu diesem Zwecke verbinden wir L und A durch einen Bogen des größten Kreises, und machen wir $LA = \varphi$ und $LAH = \vartheta$, so wird man im Dreieck LAH, rechtwinklig im H, erhalten:

$$\cos.\ \varphi = \cos.\ AR \cos.\ D,\ \text{tang.}\ \vartheta = \frac{\text{tang.}\ D}{\sin.\ AR} \quad (1)$$

Ist auf diese Art der Winkel $LAH = \vartheta$ gekannt, so schließt man:

$$LAJ = LAH + HAJ = \vartheta + \omega.$$

Während nun im Dreieck LAJ, rechtwinklig im J, die Hypothenuse $LA = \varphi$ und der schiefe Winkel $LAJ = \vartheta + \omega$ als bekannt angenommen sind, haben wir:

$$\left.\begin{array}{l} \sin.\ \lambda = \sin.\ \varphi \sin.\ (\vartheta + \omega) \\ \text{tang.}\ l = \text{tang.}\ \varphi \cos.\ (\vartheta + \omega) \end{array}\right\} (2)$$

Die Gleichungen (1) dienen dazu, die Winkel φ und ϑ zu bestimmen, welche man mit ihren Zeichen in die Gleichungen (2) aufgenommen hat. Handelte es sich um die Sonne, so würde man haben $\varphi = l$, $\lambda = o$, $\vartheta = \omega$, und die Gleichungen (1) würden einfach geben:

$$\cos.\ l = \cos.\ AR \cos.\ D,\ \text{tang.}\ D = \text{tang.}\ \omega \sin.\ AR.$$

Die Längen und Rektascensionen sind von 0 bis 360° stets positiv und zunehmend, die Breiten und Deklinationen steigen bloß von 0 bis 90°, sie sind nördlich oder südlich, d. h. positiv oder negativ, je nachdem das Gestirn nördlich oder im Süden der Ekliptik für die erstern situirt ist, und des Aequators für die zweiten.

Hier folge ein Beispiel dieser Formeln: Am 15. Oktober 1829 hatte man als scheinbare Rektascension und Deklination:

AR = 4 St. 26′ 10″, 6 = 66° 32′ 39″; D = + 16° 9′ 29″,23

cos. AR . . .	9,5999289	tang. D . . .	9,4620008
cos. D	9,9824961	: sin. AR . .	9,9625143
cos. φ	9,5824250	tang. ϑ . . .	9,4994565
	φ = 67° 31′ 22″		ϑ = 17° 31′ 40″
		ω	= 23 27′ 32,5
		ω — ϑ =	5° 55′ 52,5
sin. φ . . .	9,9656867	tang. φ . . .	0,3832643
sin. (ω — ϑ)	9,0142476	cos. (ω — ϑ)	9,9976690
sin. λ	8 9799343	tang. l . . .	0,3809333
λ = —	5° 48′ 45″,2	l =	67° 24′ 50″,2

Da das Gestirn zwischen der Ebene der Ekliptik und der Ebene des Aequators enthalten ist, so ist seine Deklination nördlich und seine Breite südlich.

Durch analoge Formeln könnte man die durch die astronomischen Tafeln gegebene Länge und Breite in Rektascension und Deklination verwandeln, um seine beobachtete Position mit der von der Theorie hergeleiteten Position zu vergleichen.

Anmerkung 2.

Ueber die Parallaxen.

(Theil I. Seite 125.)

Wenn die horizontale Parallaxe eines Gestirns gekannt ist, so kann man leicht seine einer beliebigen Höhe oder Zenithdistanz entsprechende Parallaxe

daraus herleiten. Nennen wir P die horizontale Parallaxe oder den Winkel OHC (Fig. 106), R den Erdhalbmesser, D die Distanz des Sterns vom Mittelpunkt der Erde, so wird man im Dreieck OHC haben:

$$1 : \sin. P :: D : R = D \sin. P.$$

Nennen wir p die Parallaxe, wenn das Gestirn in H′ ist, und z die Zenithdistanz, oder was auf dasselbe herauskommt, machen wir p = OH′C und z = ZOH′, so wird man, bei der Annahme, daß die Distanz H′C des Sterns von der Erde sich nicht veränderte, im Dreieck COH′ haben:

$$\sin. p : \sin. (180^\circ - z) :: R : D,$$

wovon man, beobachtend, daß $\sin. (180^\circ - z) = \sin. z$, abzieht:

$$R = \frac{D \sin. p}{\sin. z}.$$

Vergleicht man die zwei Werthe von R, so hat man:

$$\sin. p = \sin. P \sin. z \text{ (a)},$$

eine Gleichung, welche die der Zenithdistanz entsprechende Parallaxe geben wird, wenn die horizontale Parallaxe P gekannt ist.

Da die Bogen p und P im Allgemeinen sehr klein sind, so kann man sie ihren sinus substituiren, was da gibt:

$$p = P \sin. z \text{ (b)},$$

d. h. die Parallaxe der Höhe ist das Produkt der horizontalen Parallaxe, durch den Sinus der Distanz vom Zenith oder durch den Cosinus dieser Höhe.

Der größte Werth des Sinus z hat statt, wenn man hat $z = 90^\circ$, alsdann $p = P$, d. h. der

größte Werth der Parallaxe eines Sterns ist jener, welcher statt hat, wenn er am Horizont ist. Die vorhergehende Gleichung wendet man gewöhnlich bei der Beobachtung der Sonne und Planeten an, was aber den Mond anlangt, so macht man, wegen seiner Nähe von der Erde, von der Gleichung (a) Gebrauch, was seine Parallaxe sehr verstärkt, und, ohne merklichen Irrthum, nicht gestattet, sie gleich mit dem Sinus anzunehmen. Art. 50. Die Gleichung $R = D \sin. P$ zeigt, wie man die Distanz eines Sterns vom Mittelpunkt der Erde in Theilen des Erdhalbmessers bestimmen kann, wenn man durch Beobachtung seine horizontale Parallaxe kennt. Für einen andern beliebigen Stern wird man die analoge Gleichung $R = D' \sin. P'$ haben, wovon man abzieht die Proportion:

$$D : D' :: \sin. P' : P$$

oder besser, man substituirt die Bogen dem Sinus:

$$D : D' :: P' : P.$$

Die horizontalen Parallaxen der zwei Gestirne sind also umgekehrt zu ihren Distanzen von der Erde.

Die Parallaxe eines Sterns wechselt mit seiner Distanz von der Erde, sie nimmt zu, wenn sie uns näher kommt, und vermindert sich mit der Entfernung. Die horizontale Parallaxe würde für alle Orte der Erde gleich sein. Da aber *ihre Figur* ein elliptisches Sphäroid ist, so sieht man sich genöthigt, auf ihre Abplattung bei der Messung der Parallaxen Rücksicht zu nehmen, wenigstens was den Mond betrifft, denn die andern Himmelskörper sind zu weit entfernt, als daß eine merkbare Verbesserung daraus resultirte. Die horizontale Parallaxe des Mondes ist relativ zu den unter dem Erdäquator gelegenen Orten, und heißt darum äquatorial-horizontale Parallaxe. Daraus ist leicht

die horizontale Parallaxe in Beziehung zu einem beliebigen Orte, dessen Breite gegeben ist, zu ermitteln.

Sind nun P und P′ die horizontalen Parallaxen relativ zu den Breiten Null und λ, R und R′ die ihnen entsprechenden Erdhalbmesser, so wird man, wenn die Distanz des Sterns von der Erde dieselbe bleibt, haben: $R = D \sin. P$, $R' = D \sin. P'$ wovon:

$$\frac{R}{R'} = \frac{\sin. P}{\sin. P'}, \text{ wovon } \frac{R}{R'} = \frac{P}{P'}$$

Nennt man aber α die Abplattung der Erde und vermindert man die Erdhalbmesser des Aequators vom Pol, in Proportion mit dem Sinus Quadrat der Breite (Art. 216); so wird man haben $R' = R(1 - \alpha \sin.^2 \lambda)$ folglich:

$$P' = P(1 - \alpha \sin.^2 \lambda).$$

D. h. man muß die äquatoriale Parallaxe von $\alpha P \sin.^2 \lambda$ vermindern, um die der Breite λ (s. Th. II Anm. S. 19) entsprechende horizontale Parallaxe zu erhalten. Nimmt man als Maß der Abplattung der Erde den Bruch $1/_{305}$, so wird man ihn für α in der vorhergehenden Gleichung substituiren, was sich dann leicht in Zahlen reduziren läßt.

Da die horizontale Parallaxe des Mondes zu einer beliebigen Breite auf diese Art gekannt ist, so so wird man daraus mittelst der Formel (a) auf die Parallaxe der Höhe schließen können. Addirt man diese Parallaxe mit der beobachteten Zenithhöhe, so erhält man die Höhe des Sterns, wie er von der Erde aus gesehen wurde. Die Parallaxe der Sonne verändert sich wenig, weil die Veränderungen ihrer Distanzen von der Erde unbeträchtlich sind.

Da nun die Parallaxe die Position vrrändert, welche Sonne, Mond und Planeten relativ zu dem

vcm Mittelpunkt der Erde aus Beobachtenden haben würden, und alle astronomischen Tafeln in Bezug zu diesem Mittelpunkt berechnet sind, so ist nöthig, die Coordonaten, welche die Positionen dieser Gestirne bestimmen, angemessenen Verbesserungen zu unterziehen, um sie auf das zurückzubringen, was sie, vom Mittelpunkt der Erde aus beobachtet, sein würden. Wir haben bereits gesehen, wie die Parallaxe dazu diente, aus der scheinbaren Höhe eines Sterns seine wirkliche Höhe herzuleiten, und umgekehrt, die Wirkung der Parallaxe ändert gleichmäßig die Rektascensionen, Deklinationen, Längen und Breiten, sie ändert aber nicht das Azimuth, auch nicht den Moment des Eintritts des Sterns in den Meridian. Man bestimmt durch die Formeln der Trigonometrie die Veränderungen, welche daraus bei jeder dieser Größen für ein Gestirn hervorgehen, dessen horizontale Parallaxe gekannt ist; indem man sodann von den durch die Beobachtung gegebenen Daten die Werthe dieser Korrektionen mit den Zeichen, welche die Rechnung ihnen beilegt, abzieht, erhält man die Rektascension, Deklination, die wirkliche Länge und Breite, d. h. jene, wie sie vom Mittelpunkt der Erde aus gesehen sein würden, und folglich jene, welche man haben muß, um sie mit den Werthen der Tafeln zu vergleichen.

Sei AE′ die Rektascension eines Sterns, D′ seine Deklination, L′ seine Länge und λ' seine Breite, vom Beobachter auf der Erdoberfläche gesehen; bezeichnen wir mit denselben nichtaccentuirten Buchstaben AE, D, L, λ dieselben Größen mit Beziehung auf einen Beobachter auf dem Mittelpunkt der Erde und nennen wir respektive π, π', ω und ω' die Wirkungen der Parallaxe des Sterns auf seine Rektascension, Deklination, Länge und Breite, so wird man haben:

scheinbare Rektascension $AE' =$ wirkl. Rektasc. $AE + \pi$,
scheinbare Deklination $D =$ wirkl. Deklin. $D - \pi'$,
scheinbare Länge $L' =$ wirkliche Länge $L + \omega$,
scheinbare Breite $\lambda' =$ wirkliche Breite $\lambda - \omega'$.

Hinsichtlich der Formeln, welche die Bogen π, π', ω, ω' bestimmen, verweisen wir auf Francoeurs Astronomie pratique, wo man die vollständige Auseinandersetzung dieser Formeln mit den Beispielen findet, die ihren Gebrauch erleichtern.

Der scheinbare Durchmesser eines Sterns nimmt in dem Verhältnisse ab und zu, je nachdem er sich der Erde nähert oder von ihr entfernt, seine Veränderungen stehen mit jenen der Parallaxe durch eine sehr einfache Verwandtschaft in Verbindung, daher sehr leicht zu bestimmen. Nennt man R den scheinbaren Halbmesser eines Sterns, dessen Distanz von der Erde D ist, d. h. den Winkel, unter welchem man den Halbmesser r′ dieses Sterns von der Erde aus sehen würde, so würde man in dem rechtwinkligen Dreieck, welches durch die gerade Linie (die den Mittelpunkt des Sterns mit dem Mittelpunkt der Erde verbindet), durch den Halbmesser dieses Sterns und durch die Tangente von seiner Scheibe gebildet wird, haben:

$$\text{tang. } R = \frac{r'}{D}.$$

Bezeichnet man aber mit P die horizontale Parallaxe des Sterns und mit r den Erdhalbmesser, so hat man:

$$\sin. P = \frac{r}{D}.$$

Folglich, wenn man diese zwei Gleichungen vergleicht:

$$\frac{\text{tang. } R}{\sin. P} = \frac{r'}{r}$$

oder einfach, indem man die Bogen R und P sehr klein annimmt:

$$\frac{R}{P} = \frac{r'}{r}.$$

Da das zweite Glied keine veränderliche Größe enthält, so sieht man, daß der wirkliche Halbmesser und die horizontale Parallaxe eines Sterns unter sich in beständigem Rapport sind. Man kann also diese beiden Größen, sobald dieses Verhältniß gekannt ist, eine durch die andere bestimmen.

Der Mondhalbmesser ist gleich 0,27293 oder $^3/_{11}$ von jenem der Erde (Art. 50) also in Beziehung zu diesem Stern:

$$\text{scheinbarerer Halbmesser} ☾ = \frac{3}{11} \text{ horiz. Parall.}$$

Mittelst dieser Formel sind die Halbmesser des Mondes in der Connaissance des temps berechnet. Sie beziehen sich auf einen im Mittelpunkt der Erde placirten Beobachter. Man muß sie einer kleinen Verbesserung unterziehen, welche von der Parallaxe abhängt, die der Beobachter auf der Erde einnimmt.

Art. 43 haben wir gesehen, wie man die horizontale Parallaxe eines Sterns durch zwei gleichzeitige Beobachtungen seiner Höhe bestimmt, die unter demselben Meridian gemacht wurden. Um von dieser Rechnungsart ein Beispiel zu geben, wählen wir folgende Beobachtungen, mittelst welchen man die Parallaxe des Mars bestimmen wollte.

Am 6. Oktbr. 1751 wurde die Mittagshöhe des Mars am Cap der guten Hoffnung in der südlichen Hemisphäre beobachtet und mit einem Bruchtheil verbessert, sie war 64° 57′ 33″. Indem man das Complement dieses Winkels nimmt, findet man 25° 2′ 27″ für die Zenithdistanz des Planeten. Die Breite oder Höhe des Pols am Cap ist 33° 55′, wovon das Complement 56° 5, die Poldistanz vom

Zenith, zusammenaddirt mit 25° 2′ 27″ gibt 81° 7′ 27″ für die Distanz des Mars vom Südpol am 6. Okt. 1751 Mittags. Schneidet man diesen Winkel von 180° ab, so hat man für seine Distanz vom Nordpol in demselben Moment 98° 52′ 33″.

In derselben Zeit war die zu Stockholm beobachtete Mittagshöhe des Mars mit einem Bruchtheil berichtigt, 21° 45′ 54″, wovon das Complement 68° 14′ 6″ die Zenithdistanz des Planeten gibt. Die Breite von Stockholm ist 59° 21′, wovon das Complement 30° 39′ die Distanz des Pols vom Zenith ist. Addirt man diese Distanz mit 68° 14′ 6″, so hat man die Zenithdistanz des Mars von Stockholm 6. Okt. 1751 zu Mittags, gleich 98° 53′ 6″.

Die Differenz dieser Distanz von der am Cap beobachteten ist 33″, das ist die Parallaxe des Mars, die dem Raum entspricht, welcher die beiden Beobachter (Art. 43) trennt. Um daraus auf die Parallaxe zu schließen, bezeichnen wir diese Parallaxe mit P und die Zenithdistanzen des Sterns L (Fig. 107) in den beiden Beobachtungen mit h und h′. Man wird dann haben:

für die erstere . . $CLO = P \sin. h$,
für die zweite . . $CLO' = P \sin. h'$.

Folglich:

$$CLO + CLO' = P (\sin. h + \sin. h'.$$

Nun ist CLO + CLO′ der Winkel, unter welchem vom Mittelpunkt des Sterns ausgesehen L die Distanz OO′ ist, welche die zwei Beobachter trennt, folglich ist dies die von uns als 33″ gefundene Parallaxe; um die horizontale Parallaxe zu berechnen wird man also haben:

$$P = \frac{33''}{\sin. h + \sin. h'}$$

Man hat übrigens durch das Vorhergehende h =

25° 2′ 27″, h′ = 68° 14′ 6″, woraus man schließt sin. h = 0,42326′ sin. h′ = 0,92871 und folglich

$$P = \frac{33''}{1,35197} = 24'',4,$$

d. h. die horizontale Parallaxe des Mars war am 6. Okt. 1751 gegen 24″,4.

Substituirt man diesen Werth in der Gleichung $D = \frac{r}{\sin. P}$, so findet man, daß die Distanz dieses Planeten von der Erde in jenem Zeitpunkt war 8453,4 Erdhalbmesser.

Anmerkung 3.

Ueber die Bestimmung der größten Gleichung des Mittelpunkts der Sonne durch die Beobachtungen.

(Theil I. Seite 159.)

Um von dieser Rechnung ein Beispiel zu geben, wählte ich im Jahre 1830 gemachte Beobachtungen. Die Länge der Sonne war 9° 46′ 48″ am 30. März 12 St. 4′ 4″ der mittlern Zeit zu Paris, und sie näherte sich ihrer größten Gleichung, wie es die Beobachtung ihrer täglichen Bewegung anzeigte, die nur wenig von ihrer mittlern tropischen Bewegung differirte, oder 59′ 8″,33. Am darauffolgenden 2. Oktober 23 St. 49′ 9″ war die Länge der Sonne 189° 44′ 35″, und sie befand sich ihrer größten Gleichung noch sehr nahe. Die Differenz der zwei Längen ist 179° 57′ 47″, und um jene der Epochen zu haben, beobachte man, daß vom 30. März 12 St. bis zum 2. Oktober 12 St. 186 Tage verflossen waren; die erste Beobachtung war um 4′ 4″

voraus, und die zweite 11 St. 49′ 9″, also ist 11 St. 45′ 5″ die Differenz, welche man mit den 186 Tagen addiren muß, um die trennende Zwischenzeit zu haben, was also gibt 186,489641 T. Multiplizirt man mit dieser Zahl die mittlere tägliche Bewegung 59′ 8″,33, so wird man die mittlere Bewegung der Sonne in der Zwischenzeit zweier Beobachtungen haben. Wird dieser Bogen von ihrer wirklichen Bewegung in diesem Zeitraum weggeschnitten, so ist er das Doppelte der größten Gleichung des Mittelpunkts. Man findet also:

Mittl. Beweg. in 186,48964 T. . . .	183°	48′	47″
Wirkl. Beweg.	179	57	47
Differenz . . .	3	51	00

was also für die größte Gleichung des Mittelpunkts gibt . . . 1° 55′ 30″. Der genaue Werth dieser Gleichung war 1830 gegen 1° 55′ 27″, die Differenz von 3″ kommt daher, weil es schwer ist, den Moment präcis zu bestimmen, wo die Sonne sich in ihrer größten Gleichung fand. Man würde aber der Präcision sehr nahe kommen, wenn man mehre in diesem Zeitpunkt angestellte Beobachtungen der Sonne wählte, und indem man durch Interpolation die Zeit festsetzte, wo ihre merkliche Bewegung per Tag gleich war der mittlern tropischen Bewegung. Die Differenz zwischen dem Werth der größten auf diese Art erhaltenen Gleichung und dem wirklichen Werthe könnte sich also auf eine Sekunde reduziren. Diese Untersuchung läßt sich noch mehr erleichtern, wenn man mittelst der Formeln der elliptischen Bewegung die Werthe der Sonnenlängen berechnet, die der größten Gleichung des Mittelpunkts entsprechen (was leicht ist, wenn man die Excentricität und die Länge der Epoche kennt), und unter den Daten der Beobachtung jene wählt, welche sich ihr am meisten nähern (s. Anm. 5).

Anmerkung 4.

Formeln der elliptischen Bewegung.

(Theil II. Seite 176).

Nehmen wir zu irgend einem Zeitpunkt M als die Position an, die ein Planet auf der um die Sonne S beschriebenen Ellipse ABCD (Fig. 108) einnimmt, P sei der Ort des Sternes, welcher den Kreis ABE beschreiben würde, den die Ellipse in derselben Zeit in gleichförmiger Bewegung umschrieb, die der Planet zu seiner periodischen Umlaufszeit bedarf; endlich sei N der Punkt, wo die vom Planeten M auf die große Axe der Ellipse herabgezogene senkrechte Linie dem Kreis begegnet, so wird ASM die wirkliche Anomalie oder die rechtwinklige Distanz des Planeten vom Perihelium sein, AOP die mittlere Anomalie oder die mittlere Distanz des Sterns von diesem Punkte, und AON ein Hülfswinkel, den man die excentrische Anomalie nennt, und den die Astronomen in die Formeln der elliptischen Bewegungen eingeführt haben, um den Ausdruck zu erleichtern. Dieser Winkel ist, wie man sieht, die rechtwinklige Distanz vom Perihelium eines Sterns, welcher den Kreis ABE beschreiben würde, indem er stets dieselbe Abſisse OQ wie der Planet bewahrte. Es handelt sich hier darum, die Verhältnisse zu bestimmen, welche diese drei Größen unter sich verbinden.

Dem Gesetz der Proportionalität der Flächen mit den Zeiten zufolge, die es bedarf, um sie zu beschreiben, ist der Sektor ASM auf der Fläche der Ellipse, gleich der Zeit, welche der Planet um ihn zu ziehen bedarf, zu seiner ganzen Umlaufszeit,

der Sektor AOP ist die Fläche des Kreises in demselben Verhältniß, man hat also die Proportion:

S ekt. ASM : Sekt. AOP :: Fläche d. Ellipse : Fl. d. Ell. :: MQ : NQ.

Die Sektoren ASM und ASN, welche dieselbe Basis AS haben, sind unter sich wie MQ zu NQ; man hat also:

Sekt. ASM : Sekt. ASN :: MQ : NQ.

Vergleicht man diese beiden Proportionen, so schließt man daraus:

Sekt. AOP = Sekt. ASN = Sekt. AON – SON.

Bezeichnen wir mit a die kleine große Axe der Ellipse, mit e ihre Excentricität, mit u die excentrische Anomalie AON, mit nt die mittlere Anomalie AOM, so wird man, wenn n die mittlere tägliche Bewegung, und t die seit ihrem Durchgang durchs Perihel verflossene Zeit ist, haben $AO = a$, $OS = ae$, $NQ = a \sin. u$, $AM = ant$, folglich Sekt. $AOP = \frac{1}{2}a^2nt$, Sekt. $AON = \frac{1}{2}a^2u$, $SON = \frac{1}{2} SO \times NQ = \frac{1}{2}a^2e \sin. u$. Substituirt man diese Werthe in der vorhergehenden Gleichung und dividirt durch a^2, so wird man haben:

$$n = u - e \sin. u \ (1).$$

Nennen wir r den Radius Vector SM, so gibt das rechtwinklige Dreieck NOQ $r = \sqrt{MQ^2 + SQ^2}$; allein man hat $SQ = a (\cos. u - e)$, und durch die Natur der Ellipse $MQ = NQ\sqrt{1 - e^2} = \sin. u \sqrt{1 - e^2}$; substituirt man diese Werthe, so findet man:

$$r = a (1 - e \cos. u) \ (2)$$

Bezeichnen wir mit v die wirliche Anomalie oder den Winkel ASM, das rechtwinklige Dreieck MSQ

gibt dann $SQ = r \cos. v$, man hat außerdem $SQ = a \cos. u - ae$; wenn man diese Werthe vermöge der Gleichung (2) vergleicht, so wird man also haben:

$$\cos. v = \frac{\cos. u - e}{1 - e \cos. u}$$

Man hat außerdem $\tan g.^2 \frac{1}{2} v = \frac{1 - \cos. v}{1 + \cos. v}$; substituirt man für den cos. v seinen Werth, findet man:

$$\tan g. \frac{1}{2} v = \sqrt{\frac{1 + e}{1 - e}} \tan g. \frac{1}{2} u \quad (3).$$

Mittelst dieser Formeln wäre es leicht, den Radius Vector, und die mittlere und wirkliche Anomalie eines Planeten zu bestimmen, wenn man seine excentrische Anomalie wüßte, allein gewöhnlich ist die mittlere Anomalie das Gegebene, weil es stets leicht in einem beliebigen Moment die Position eines Sterns, welcher sich gleichförmig in einer kreisförmigen Bahn bewegt, zu bestimmen. Man müßte also mittelst der Formel (1) die excentrische Anomalie a in Funktion der mittlern Anomalie nt deduciren. Da aber die Gleichung (1) transcendent ist, so könnte man nur durch blindes Tappen dahin gelangen. Diese Aufgabe, welche die Mathematiker so lange beschäftigt hat, nennt man das Kepler'sche Problem, weil dieser Astronom es in Vorschlag brachte. Glücklicherweise gestattet die Kleinheit der planetarischen Excentricitäten ihre Auflösung mittelst der Approximationsformeln, welche förmlich die Zuverlässigkeit der strengen Formeln besitzen. Schafft man die Anomalie u unter den Gleichungen (1) (2) und (3) weg, findet man:

$$\frac{r}{a} = + \tfrac{1}{2} e^2 - \left(e - \frac{3}{8} e^3\right) \cos. nt$$

$$- \left(\tfrac{1}{2} e^2 - \frac{1}{3} e^4\right) \cos. 2nt - \text{rc.}$$

$$v = nt + \left(2e - \frac{1}{4} e^3\right) \sin. nt$$

$$+ \left(\frac{5}{4} e^2 - \tfrac{11}{24} e^4\right) \sin. 2nt + \text{rc.}$$

Der Winkel v ist die wirkliche Länge des Planeten in seiner Bahn am Ende der Zeit t, nt seine mittlere Länge, v — nt oder die Reihe von Ausdrücken $\left(2e - \frac{1}{4} e^3\right) \sin. nt + \text{rc.}$ ist das, was die Astronomen die „Gleichung des Mittelpunktes" nennen, d. h. was man zur mittlern Länge hinzurechnen muß, um die wirkliche Länge zu erhalten.

Wir nehmen den Winkel v vom Perihel gerechnet an. Wollte man ihn von irgend einem Punkte der Bahn zu rechnen anfangen, so reichte es hin, den Winkel v der Constante ω zu verkleinern, welcher die Länge des Perihels vom neuen Anfang des Winkels v gezählt, darstellen würde, und ebenso, wenn anstatt die Zeit des Durchgangs durchs Perihel zu rechnen, man seinen Anfang an eine beliebige Epoche fixiren wollte; man würde den Winkel nt um eine Constante vermehren, welche die mittlere Anomalie des Planeten in dem Momente ausdrücken würde, wo die Zeit t anfängt. Gewöhnlich macht man diese Constante gleich $\varepsilon - \omega$, dann repräsentirt ε die mittlere Länge des Planeten in demselben Moment, oder was man die Länge der Epoche nennt, nt + ε ist die mittlere Länge am

Ende der Zeit t und $nt + \varepsilon - \omega$ die mittlere Anomalie.

Um diesen Formeln gemäß den Radius Vector eines Planeten zu finden, substituirt man an die Stelle der Constanten a, ω, e, n ihre Werthe, die man aus den Beobachtungen deducirt. Da im Allgemeinen die Excentricität e ein sehr kleiner Bruch ist, so wird man die Potenzen übersehen, die doch nur sehr unmerkliche Resultate geben würden. Man sieht also, daß die Rechnung um so leichter sein wird, je unbeträchtlicher die Excentricität der Bahn ist; oder je näher diese Bahn der Kreisform kommt. Substituirt man dann für t seinen einem gegebenen Moment entsprechenden Werth, der in Tagen und Tagesbrüchen ausgedrückt ist, gerechnet von dem Anfang der gewählten Epoche, so wird man den Werth des zu ihm bezüglichen Radius Vector haben.

Was die wirkliche Länge v anlangt, so wird die Rechnung sich auf dieselbe Art machen. Allein außerdem wird man bemerken, daß, wie dieser Bogen in Graden, Minuten und Sekunden ausgedrückt sein muß, so erfordert es für die Homogenität der Rechnung, jeden Coefficienten der periodischen Ausdrücke, die in ihrem Ausdruck eintreten, mit dem Bogen zu multipliciren, welcher dem Radius gleich ist, den man in den Logarithmentafeln gegen 57° $17' \, 44'',8$ oder $206264'',8$ findet. Diese Reduktion kommt darauf zurück, daß man jeden Coefficienten mit dem Sinus $1''$ dividirt.

Man wird also in jedem Augenblick auf diese Art die Position eines Planeten in seiner elliptischen Bahn bestimmen können; um aber die Mühe der numerischen Substitutionen zu ersparen, hat man im Voraus die Veränderungen der „Gleichung des Mittelpunkts“ und die Berichtigungen des Radius Vector berechnet, indem man die mittlere Anomalie

des Monats, Tages und der Stunde variiren läßt. Fügt man den Tafeln, welche diese Größen einschließen, die kleinen Berichtigungen hinzu, die von den Störungen abhängen, welche der Planet von andern Himmelskörpern erleiden kann, so wird man alles Nöthige haben, um in jedem Augenblick seine Position bestimmen zu können. Dies nennt man die Planetentafel.

Die folgenden Formeln helfen die größte Gleichung des Mittelpunkts E berechnen, wenn man die Excentricität e kennt, und umgekehrt:

$$E = 2e + \frac{11}{2^4.3} e^3 + \frac{599}{2^{10}.5} e^5 + \frac{17219}{2^{16}.7} e^7 + \text{ꝛc.}$$

$$e = \frac{1}{2} E - \frac{11}{2^4.3} E^3 - \frac{587}{2^{16}.3.5} E^5 - \frac{40583}{2^{23}.5.7.9} E^7 - \text{ꝛc.}$$

Man wird alsdann, um die excentrische und mittlere Anomalie nt, welche der größten Gleichung des Mittelpunktes entsprechen, zu bestimmen, haben:

$$v = 90^\circ - \frac{3}{4} \frac{e^2}{\sin. 1''} - \frac{21}{128} \frac{e^3}{\sin. 1''} - \text{ꝛc.}$$

$$nt = 90^\circ + \frac{5}{4} \frac{e}{\sin. 1''} + \frac{25}{384} \frac{e^3}{\sin. 1''} + \text{ꝛc.}$$

Für die Sonne hat man $a = 0{,}016786$ $n = 59' 8'',33$, und man kann die Ausdrücke der Ordnung e^3, weil sie unmerklich sind, übersehen. Man findet also:

$$v = 90^\circ - 43' 16'' = 89^\circ 16' 44''; \; t = 92{,}53 \text{ T.}$$

Der Werth von v differirt wenig von 90°, d. h. die Punkte, welche der größten Gleichung des Mittelpunkts entsprechen, entsprechen ziemlich den Extremitäten der senkrechten Linie, die durch den Brennpunkt zur großen Axe geführt wird. Dies liegt an der Kleinheit der Excentricität der Sonnenbahn.

Rechnet man die Anomalie v zur Länge der Epoche, oder zieht sie davon ab, so wird man die Längen der beiden Punkte haben, welche der größten Gleichung des Mittelpunkts entsprechen. Verdoppelt man den Werth von t, so wird man ziemlich den sie trennenden Zwischenraum haben (s. Anm. 3).

Anmerkung 5.

Bestimmung der elliptischen Elemente einer Planetenbahn durch die Beobachtungen.

(Theil II. S. 178)

Wir haben die Mittel gezeigt, wie man durch die Beobachtung allein die ersten Elemente der Sonnenbahn, der Mondbahn oder einer Planetenbahn finden könne. Nimmt man aber die Gesetze der elliptischen Bewegung als bekannt an, so kann man mittelst der Theorie und Beobachtung zugleich zu einer sehr genauen Kenntniß des wirklichen Werthes dieser Elemente gelangen.

Bezeichnet man mit v die wirkliche Länge eines der Ebene seiner Bahn nahe gekommenen Planeten, seine mittlere tägliche Bewegung mit n, die Länge seines Perihels mit ω, die Länge der Epoche mit ε und die Excentricität seiner Bahn mit e, so wird man, nach dem, was in voriger Anm. beigebracht worden ist, haben:

$$v = nt + \varepsilon - 2e \sin. (nt + \varepsilon - \omega)$$
$$+ \frac{5}{4} e^2 \sin. 2 (nt + \varepsilon - \omega) + \text{etc.}$$

In den frühern Untersuchungen, wo nur von der Ausschweifung der Bahn die Frage sein kann, wird

man sich stets auf zwei Ausdrücke dieser Serie beschränken müssen, selbst wenn man annehmen wollte, die Bahn sei sehr excentrisch. Wenn es sich um die Sonne oder um einen Planeten handelte, dessen Excentricität unbeträchtlich ist, so hat man nur auf die erste Potenz der Excentricität zu achten, was die Rechnung sehr erleichtern würde. In diesem Falle wird die vorige Formel, wenn man die Serie umkehrt, geben:

$$nt + \varepsilon = v + 2e \sin. (v - \omega).$$

Diese Gleichung enthält vier unbekannte $n, \varepsilon, e, \omega$, welche wir zu bestimmen haben. Nur bemerke ich, wenn man an die Stelle von v und t ihre durch Beobachtungen gegebenen Werthe substituirt, man so viele der vorigen ähnliche Gleichungen bilden wird als es Beobachtungen gibt, und vier unter ihnen werden folglich zur vollständigen Bestimmung der unbekannten des Problems hinreichen. Es handelt sich nur noch darum, unter diesen Gleichungen die unbekannten Größen, welche sie enthalten, auszuscheiden. Da sie aber alle transcendent sind, so muß die Ausscheidung auf eine besondere Art vorgenommen werden, damit die daraus hervorgehenden Formeln für die numerische Rechnung nicht zu complizirt erscheinen. Bouvard hat zu diesem Zwecke ein Verfahren angezeigt, welches sehr zu empfehlen ist. Er zeigte mir die Anwendungen, welche er damit auf die Sonne und auf den Mars gemacht hat, welcher Fall für ihn sehr günstig war wegen der großen Excentricität dieses Planeten; und er gelangte, ohne irgend eine Vorkenntniß der Elemente dieser Gestirne vorauszusetzen, zu einer Präcision dieser Art, daß seine Resultate, mit den Werthen der in unsern besten Planetentafeln adoptirten Elemente verglichen, nur geringfügige Differenzen her-

ausstellten; so daß, wenn man bloß einige Orte der Sonne oder eines Planeten als genau gekannt annimmt, eine Arbeit von einigen Stunden auf diese Weise zu Resultaten führen würde, welche die Astronomen nur durch Jahrhunderte lang fortgesetzte Beobachtungen erzielen konnten.

Wenn man die Werthe der Elemente der Bahn eines Planeten oder der Sonne erhalten hat, so kann man es mit ihnen, mittelst der conditionellen Gleichungen, die auf zahlreiche Beobachtungen gestützt sind, zu der möglichst vollkommensten Genauigkeit bringen. Dies ist das allgemein von den Astronomen angewandte Verfahren:

Nennt man V die aus den Tafeln abgezogene heliocentrische Länge eines Planeten, $\varphi = nt + \varepsilon - \omega$ seine mittlere Anomalie, p, p' ꝛc. die von den Planeten m, m' ꝛc. verursachten Störungen, und hat nur auf den ersten Ausdruck der Gleichung des Mittelpunktes Acht, so wird man haben (s. Anm. 4):

$$V = nt + \varepsilon + 2e \sin. \varphi + pm + p'm' + \text{ꝛc.}$$

Wenn die verschiedenen Elemente n, ε, e ꝛc. ganz genau wären, so müßte der durch diese Formel berechnete Werth V mit der heliocentrischen Länge U, welche die Beobachtung gibt, übereinstimmen. Gibt es unter diesen Werthen eine Verschiedenheit, so ist es, daß diese Elemente der Berichtigung bedürfen. Nennen wir respektive δn, $\delta \varepsilon$, δe, $\delta \iota e$ die Berichtigungen, welche diese Elemente n, e, ε, φ der elliptischen Bewegung des gestörten Planeten erfahren sollen, und δm, $\delta m'$ ꝛc. jene, die man bei den Massen m, m' ꝛc. der störenden Planeten anbringen müßte, indem man nur auf die ersten Potenzen dieser Berichtigungen, welche nothwendig sehr klein sind, Acht gäbe, so wird man haben:

$$V - U = t\delta n + \delta\varepsilon + 2\delta e \sin.\varphi + 2e\delta\varphi \cos.\varphi + pdm + p'\delta m' + \text{etc.}$$

In dieser Gleichung wird man an die Stelle der Elemente e, n, ω, ε ihre durch die frühere Approximation gegebenen Werthe substituiren, so daß sie keine andern unbekannten Größen einschließen wird, als die willkürlichen Berichtigungen δn, δε, δe, etc. Jede Beobachtung wird eine Gleichung von ähnlicher Bedingung verschaffen; und hat man deren eine große Anzahl, so verbindet man die daraus hervorgehenden Gleichungen der Art, daß man sie auf dieselbe Zahl zurückführen kann, welche jene der zu bestimmenden Korrektionen ist. Hat man durch das gewöhnliche Verfahren der Ausscheidung ihre Werthe abgezogen, so wird man sie auf die durch eine frühere Approximation gefundenen Elemente anwenden, und so dahin gelangen, ihnen jene Genauigkeit zu geben, die sie anzunehmen fähig sind.

Da die Kometen im Allgemeinen sehr beträchtliche Excentricitäten haben, so konnte diese Methode nicht zur Bestimmung der Elemente ihrer Bahnen angewendet werden. In diesem Fall muß man zu besondern Methoden seine Zuflucht nehmen. Man nimmt gewöhnlich an, daß der Komet, während der kurzen Dauer seines Erscheinens, sich in einer parabolischen Bahn bewegt, und dann drei Beobachtungen mehr gegebene Größen verschaffen als man bedarf, um alle Elemente seiner Bewegung in dieser Curve zu bestimmen. Die andern Beobachtungen verhelfen dazu, die ersten auf diese Art erhaltenen Elemente zu verbessern. Wir können aber dieses Problem, dessen Auflösung höhere Kenntnisse erfordert, als wir bei den Lesern dieses Werkes voraussetzen, hier nur andeuten. (S. Théorie

analytique du système du Monde, T. 2e, pag. 1 und 486.)

Anmerkung 6.

Vom Gravitationsgesetz.

(Theil III. Seite 137.)

Wir haben gesagt, daß die Kraft, welche jeden Planeten in seiner elliptischen Bahn zurückhält, stets gegen den Mittelpunkt der Sonne gerichtet ist, und daß seine Intensität im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Distanz des Planeten von der Sonne variirt. Wir haben Art. 175 dieses Gesetz für zwei besondere Punkte der Bahn geprüft, d. h. im Aphelium und Perihelium; und sagten, daß man mittelst der Analyse beweisen kann, wie dies Gesetz sich ebenso in allen Positionen des Planeten bewähre. Da diese Proposition in der Gravitationstheorie von großer Wichtigkeit ist, so war diese Anmerkung, welche nur für jene Leser bestimmt ist, die schon bedeutende analytische Kenntnisse erworben haben, unerläßlich.

Die Gleichung dieser Ellipse in Bezug zu ihrem Mittelpunkte und ihren Axen ist:

$$a^2 y^2 + b^2 x^2 = a^2 b^2,$$

und der Halbmesser der Curvur, in derselben Hypothese, hat zum Ausdruck (s. Lacroix „Elemente der Differentialrechnung"):

$$\varrho = \frac{(a^4 y^2 + b^4 x^2)^{3/2}}{a^4 b^4}$$

Uebertragen wir den Ursprung der Coordonaten auf

den Brennpunkt F der Curve (Fig. 109), wo wir mit e die Excentricität bezeichneten, was annehmen läßt $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$), bezeichnen wir mit r den Radius Vector gegen die Bahn, und mit v seine Länge vom Perihel gerechnet, so wird man haben:

$$x = r \cos. v + ae \; ; \; y = r \sin. v.$$

Substituirt man in der Gleichung der Curve diese Werthe und löst sie in Bezug zu r der resultirenden Gleichung auf, so findet man diese Reduktion:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos. v}.$$

Das ist die Gleichung der Schneidelinie zu ihren polaren Coordinaten in Beziehung gebracht.

Substituirt man dieselben Werthe im Ausdruck ϱ, so hat man:

$$\varrho = \frac{\left\{a^2 - (a - r)^2\right\}^{3/2}}{a^2 \sqrt{1 - e^2}} = \frac{r^3 \left\{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right\}^{3/2}}{\sqrt{a(1 - e^2)}} \quad (1)$$

der Ausdruck des Halbmessers der Curvur in der Eigenschaft als Radius Vector.

Nennt man V die Geschwindigkeit des Planeten am Ende der Zeit t, bezeichnet dann mit ds das Element der Schneidelinie während des Moments dt, so wird man haben (s. Theil III, S. 113 Anm.):

$$V^2 = \frac{ds^2}{dt^2}.$$

Wir beschreiben nun vom Brennpunkt F als Mittelpunkt mit einem dem r gleichen Halbmesser den Bogen des Kreises MN, welcher am Punkt N den der Position M′ des Planeten entsprechenden Ra-

dius Vector FM′ durchschneidet, so wird dieser Bogen $r dv$ zur Länge haben, und der kreisförmige Sektor FMN, welchen der Planet in dem Moment dt beschreibt, wird gleich sein $\frac{1}{2} r^2 dv$, und für den elliptischen Sektor MFM′ genommen werden, indem man die sehr kleine Fläche N′MM′ der zweiten Ordnung übersieht; die beiden Axen der Ellipse sind a und $a\sqrt{1-e^2}$, ihre Fläche hat zum Ausdruck $\pi a^2 \sqrt{1-e^2}$. Nennt man nun T die Umlaufszeit des Planeten, so wird man, dem ersten Kepler'schen Gesetz zufolge, haben:

$$r^2 dv : 2\pi a^2 \sqrt{1-e^2} :: dt : T$$

wovon man abkürzend das $c = \frac{2\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{T}$ abzieht:

$$r^2 dv = c\, dt$$

Substituirt man den von dieser Gleichung im Ausdruck V^2 abgezogenen Werth dt, und beobachtet übrigens, daß das Dreieck MNM′, welches als rechtlinig betrachtet werden kann, $MM'^2 = M'N^2 + MN^2$ gibt, oder vielmehr:

$$ds^2 = dr^2 + r^2 dv^2$$

so findet man:

$$V^2 = c^2 \left(\frac{dr^2}{r^4\, dv^2} + r^{1/2}\right)$$

Differenzirt man die Gleichung dieser Ellipse, gibt sie:

$$\frac{dr}{dv} = \frac{a(1-e^2)\, e \sin. v}{(1+e \cos. v)^2} = \frac{r^2\, e \sin. v}{a(1-e^2)}$$

folglich:

$$V^2 = \frac{c^2}{a^2 (1 - e^2)^2} \left\{ e^2 \sin.^2 v + (1 + e \cos. v)^2 \right\}$$

$$= \frac{c^2}{a^2 (1 - e^2)^2} (1 + 2e \cos. v + e^2)$$

Ein Ausdruck, welcher, wenn man seinen Werth für c substituirt, und macht, um abzukürzen, $\mu = \frac{2\pi\ a^3}{T^2}$ vermöge der Gleichung der Ellipse sich wie folgt schreiben ließe:

$$V^2 = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right) \quad (2)$$

Bezeichnen wir mit ϑ den Winkel OMP, welcher die Normale am Punkt M mit der Verlängerung des Radius Vector im Dreieck MM'N bildet, so wird der Winkel M gleich sein dem Winkel ϑ, weil sie beide unter den senkrechten geraden Linien enthalten sind. Man wird also in diesem Dreieck haben:

$$\cos. \vartheta = \frac{rdv}{ds}$$

Aus dem Vorhergehenden hat man ds = V dt, vermöge des vorhergehenden Werthes von dt wird man also haben:

$$\cos. \vartheta = \frac{r\,d\,v}{V\,dt} = \frac{c}{r\,V}$$

Substituirt man für V seinen von der Formel (2) gegebenen Werth, und hat auf die Größen Acht, welche c und μ repräsentiren, so findet man:

$$\cos. \vartheta = \frac{\sqrt{a (1 - e^2)}}{r \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}}} \quad (3)$$

Steht dies fest, so kann man annehmen, daß der Planet in dem Moment dt sich durch den Kreis bewegt, welcher den Punkt M berührt; die Centrifugalkraft im Kreise hat zum Ausdruck das Quadrat der Geschwindigkeit des Mobile, getheilt durch den Halbmesser des Kreises; und der Theorie von den Centralkräften zufolge muß diese Kraft der Potenz gleich sein, welche dem Halbmesser der Curvur zufolge zerlegt, den Planeten in seiner Bahn zurückhält. Diese letztere Kraft ist gegen den Radius Vector r und gegen den Mittelpunkt der Curvur gerichtet. Nennt man nun R ihre Intensität und beobachtet, daß, wenn ϑ der Winkel ist, welcher ihre Richtung mit dem Halbmesser der Curvur bildet, es hinreichen wird, um diesem Halbmesser zufolge seine Composante zu haben, sie mit cos. ϑ zu multivliziren, so wird man die Gleichung

$$R \cos. \vartheta = \frac{V^2}{\varrho}$$

haben.

Substituirt man in dieser Gleichung an die Stelle von ϱ, V^2 und cos ϑ ihre durch die Gleichungen (1) (2) und (3) gegebenen Werthe, so findet man:

$$\frac{R\sqrt{(1-e^2)}}{r\sqrt{\frac{2}{r}-\frac{1}{a}}} = \frac{\mu\sqrt{a\,(1-e^2)}}{r^3\sqrt{\frac{2}{r}-\frac{1}{a}}}$$

wovon man endlich abzieht

$$R = \frac{\mu}{r^2}$$

Dieser Ausdruck der beschleunigenden Kraft R zeigt uns, daß sie an allen Punkten der Bahn in

umgekehrter Proportion zur Distanz des Planeten von der Sonne steht. Für einen andern Planeten, dessen kleine große Axe a′ sein würde, und die periodische Umlaufszeit T, würde man allenfalls haben:

$$R = \frac{\mu'}{r^2}$$

Macht man zur Abkürzung des $\mu' = \frac{4\pi a'^3}{T'^2}$ so hat man, dem dritten Kepler'schen Gesetz zufolge:

$$T^2 : T'^2 :: a^3 : a'^3$$

wovon man abzieht:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^3} \text{ und } \mu = \mu'.$$

Folglich sind die beschleunigenden Kräfte der beiden von der Sonne gleich weit entfernten Planeten sich gleich, und ihre bewegenden Kräfte sind unabhängig von ihrer besondern Natur und ihren Massen proportionirt. Auf diese Art entdeckte Newton das allgemeine Gravitationsgesetz. Seitdem hat man in den Vervollkommnungen der analytischen Mechanik noch einfachere Mittel, um sie zu untersuchen, aufgefunden. Aber der Weg, welchen wir in dieser Anmerkung genommen, ist vorziehbarer, weil er zeigt, wie die Theoreme eines Huygens über die Centrifugalkraft und die Kepler'schen Gesetze, die Quelle waren, aus welcher Newton seine große, dem menschlichen Verstand zur Ehre gereichende Entdeckung schöpfte. Das Studium der Verhältnisse, durch welche der Fortschritt in jenen sich gegenseitig auf einander beziehenden Wissenschaften begünstigt wurde, ist vielleicht nicht weniger belehrend als das Studium der durch sie erzielten Resultate.

Anmerkung 7.

Ueber die Werthe der Planetenmassen.

(Theil III. Seite 155.)

Die Werthe der Planetenmassen, jene der Sonne als Einheit genommen, resultiren aus den neuesten und offenbar auch genauesten Abschätzungen. Die Masse des Merkur ist die einzige, welche sich bis jetzt nicht unmittelbar abschätzen ließ. Sie mußte also empirisch, nach einer willkürlichen Hypothese über das Gesetz der Dichtheiten der verschiedenen Planeten — Dichtheiten, welche man gewöhnlich reciprok zu ihren Entfernungen von der Sonne annimmt — berechnet werden. Die Massen der Venus und des Mars resultiren aus der Vergleichung der Ungleichheiten, welche ihre Wirkung auf die Bewegung der Erde hervorbringt, mit den Beobachtungen. Die Erdmasse ist durch die Beobachtungen mit dem Sekundenpendel unter einer gegebenen Breite bestimmt; die Jupitermasse resultirt zufolge der Thl. II. S. 168 auseinandergesetzten Methode aus den im Jahr 1833 von Airy in Cambridge beobachteten Elongationen seines vierten Trabanten. Die Massen des Saturn und Uranus resultiren aus der Erörterung der Beobachtungen, welche Herrn Bouvard zu den *Jupiter*tafeln als Grundlage dienten, und aus ihrer Vergleichung mit den theoretischen Formeln, welche die Ungleichheiten dieses Planeten bestimmen.

Der Werth der Saturnmasse hat durch Bessel eine Berichtigung erfahren; indem er die von Pound, dem Zeitgenossen Newtons, gemachten Beobachtungen über die Elongationen des sechsten Satelliten Saturns wieder vornahm, schloß er, daß die Masse dieses Planeten, jene der Sonne als Einheit ge-

nommen $1/_{3501}$ gleich sein müsse. Bouvard zufolge wäre diese Masse gleich $1/_{3512}$. Die kleine Differenz dieser beiden Werthe, woran die Verschiedenheit der Beobachtungsmittel die Schuld trägt, scheint zu beweisen, daß wir den wirklichen Werth der Saturnmasse ziemlich ermittelt haben.

Anmerkung 8.

Ausdruck der störenden Sonnenkraft in der Bewegung des Mondes.

(Theil III. Seite 178.)

Wenn M die in S (Fig. 99) situirte Sonnenmasse ist, T die Erde, L der Mond und μ die Summe ihrer Massen, so machen wir ST = s, SL = l, LT = r und STL = T. Dem Attraktionsgesetz zufolge wird die Sonne die Erde mit einer Kraft $\frac{M}{s^2}$ gerichtet gegen ST, und den Mond mit einer Kraft $\frac{M}{l^2}$ gerichtet gegen SL anziehen. Diese letztere Kraft kann in zwei andere zerlegt werden, die eine gerichtet gegen LT, die andere gegen LA parallel von ST; nach den Regeln des Parallelogramms der Kräfte werden diese zwei Composanten respektive sein: die erstere $\frac{M}{l^2} \cdot \frac{r}{l}$ und die zweite $\frac{M}{l^2} \cdot \frac{s}{l}$. Nimmt man an, daß die Erde unbeweglich sei, so muß man auf den Mond die Kraft $\frac{M}{s^2}$ im entgegengesetzten Sinn der Richtung anwenden. Die

auf den Mond einwirkenden störenden Kräfte sind definitiv:

$$\frac{Mr}{l^3} \text{ gerichtet nach LT und } M\left(\frac{s}{l^3} - \frac{1}{s^2}\right)$$

folgend LA.

Um diese Ausdrücke zu entwickeln, nehmen wir zuerst die drei Himmelskörper in derselben Ebene an. Ziehen wir die senkrechte Linie LB auf ST herab, so wird man haben: $SB = SL \cos. S$. Der Winkel S ist immer klein. Wirklich ist die Sonnenparallaxe beinahe $8\frac{1}{2}''$, das ist der Winkel, unter welchem man vom Mittelpunkt der Sonne den Erdhalbmesser bemerkt; der Winkel S, unter welchem man von demselben Punkt aus den Halbmesser der Mondbahn sehen würde, müßte also ungefähr $8\frac{1}{2}'$ sein, weil dieser Halbmesser 60mal größer ist als der erstere. Man kann also annehmen $\cos. S = 1$, und folglich $SB = SL$.

Wir hätten also $SL = l = s - r \cos. T$ und $\frac{1}{l^3} = \frac{1}{s^3} + \frac{3r \cos. T}{s^4} +$ ꝛc. Substituirt man diesen Werth in dem Ausdruck der störenden Kräfte und beobachtet man, daß das Verhältniß $\frac{r}{l}$ ungefähr $\frac{1}{400}$ sei, so kann man die von ihrem Quadrat abhängigen Termen übersehen.

Die nach LT gerichtete Kraft reduzirt sich auf $\frac{Mr}{s^3}$ und die Kraft, die nach LA gerichtet ist, auf $\frac{3Mr \cos. T}{s^3}$.

Indeß handelt es sich darum, die Kraft, welche nach LA gerichtet, in zwei andern Kräften wirkt, zu zertheilen, die eine nach dem verlängerten Halbmesser LT und die andere senkrecht von diesem Halbmesser.

Durch die Regeln des Parallelogramms der Kräfte wird klar, daß diese beiden Composanten genügen, um den Ausdruck der gegebenen Kraft respektive durch den Cosinus und Sinus des Winkels T, welchen sie mit LT bildet, zu multiplizieren. Diese beiden Kräfte werden also sein:

$$\frac{3Mr\cos.T}{s^3}\cos.T = \frac{3Mr}{2s^3}(1+\cos.2T);\ \frac{3Mr\cos.T}{s^3}\sin.T$$

Die Erstere muß sich mit der Kraft verbinden, die den Mond nach LT antreibt, und da sie in umgekehrter Richtung ist, muß sie mit einem entgegengesetzten Zeichen genommen werden; die Zweite ist der Theil dieser störenden Kraft, welche in der Richtung agirt, welche die Bewegung des Mondes nach Lq nimmt, und da sie seine Bewegungen zu verlangsamen strebt, so muß sie mit dem Zeichen — genommen werden. Nennt man P und Q die zwei nach LT gerichteten Kräfte und folgt der senkrechten Linie von diesem Halbmesser, so hat man:

$$P = \frac{Mr}{2s^3}(1+3\cos.2T);\ Q = -\frac{3Mr}{2s^3}\sin.2T.$$

Die Kraft P bewirkt die Zu- oder Abnahme der Anziehungskraft der Erde, und die Kraft Q strebt ihre Geschwindigkeit zu verkürzen oder zu verstärken. In den Syzygien hat man $T=0$ oder $T=180^0$, was da gibt $P=\frac{2Mr}{s^3}$

In den Quadraturen $T=90$ oder $T=270^0$ . . . $P=\frac{Mr}{s^3}$

So ist also die Schwere des Mondes in den Quadraturen zunehmend, in den Syzygien aber abnehmend, und die Abnahme, welche in diesen letztern Punkten statt hat, ist das Doppelte der Zunahme, welche in den erstern Punkten statt hat. Dies ist ganz conferm mit dem, was der Text sagt (s. Th. III S. 179 und 184).

Der Ausdruck $P = \frac{Mr}{2s^3} (1 + 3 \cos. 2T) = \frac{Mr}{s^3}(1 - 3 \cos.^2 T)$ zeigt auch, daß die Wirkung der Sonne, um die Schwere des Mondes zu vermindern, Null ist in den vier Punkten der Bahn, wo man hat $\cos. T = \pm\sqrt{\frac{1}{3}}$, d. h. in den vier Positionen des Mondes, wo der Winkel T ist 54° 44′, 125° 16′, 234° 44′ und 305° 16′, wo sich folglich der Mond den Quadraturen viel näher befindet als der Syzygien (s. S. 179).

Der Theil $\frac{Mr}{2s}$ der Kraft P repräsentirt den mittlern Werth der Kraft, welche die Sonne auf den Mond ausübt, um seine Schwere gegen die Erde zu vermindern, weil der mit dem Cosinus 2T multiplizirte Theil, welcher alle zwischen + 1 und — 1 enthaltenen Werthe annimmt, nothwendig periodisch ist, und zum mittlern Werth Null hat. Nach dem Theorem des Huygens sind die Centralkräfte der zwei Körper, welche verschiedene Kreise beschreiben, unter sich wie die Halbmesser dieser Kreise getheilt durch die Quadrate der periodischen Zeiten s. S. 123). Bezeichnet man also mit m das Verhältniß der Umlaufszeiten der Erde um die Sonne und des Mondes um die Erde, und repräsentirt μ die Summe der Erd- und Mondmassen, so hat man die Proportion:

$$\frac{\mu}{r^2} : \frac{M}{s^2} :: r : m^2 s, \text{ was da gibt } \frac{Mr}{s^3} = m^2 \frac{\mu}{r^2};$$

da man nun so ziemlich $m = \frac{1}{13,4}$ hat, so schließt man daraus:

$$-\frac{Mr}{s^3} = -\frac{1}{358}\frac{\mu}{r^2};$$

d. h. die mittlere Kraft der Sonne vermindert um $\frac{1}{358}$ die Attraktion der Erde auf den Mond, conform mit dem auf S. 179 Gesagten.

Endlich hat man in den Oktanten $T = 45^0$, und der Ausdruck Q gibt:

$$Q = -\frac{3\,Mr}{2\,s^3} = -\frac{1}{119}\frac{\mu}{r^2}.$$

Also die Kraft, welche die Geschwindigkeit des Mondes zu vermehren strebt, ist in den Octanten, d. h. in den Positionen, wo der Mond sich 45^0 von der Sonne befindet, das Dreifache der mittlern Kraft, welche seine Schwere zu vermindern strebt, und sie ist gleich $\frac{1}{119}$ der aus der Einwirkung der Erde hervorgehenden Centralkraft; conform mit dem S. 179 Gesagten.

Anmerkung 9.

Von den Veränderungen der Schwere und Länge des Pendels auf der Oberfläche der Erde.

(Theil IV. S. 25.)

Die Länge l des Sekundenpendels an einem Orte, dessen Breite λ ist, hat zum Ausdruck, Theil IV. Seite 26:

$$l = m + n \sin.^2\lambda,$$

da m und n zwei unbekannte Größen sind, so muß man sie durch die Beobachtung bestimmen; m re=

präsentirt, wie man sieht, die Länge des Pendels, wenn $\lambda = 0$ oder unter dem Aequator, und n der Ueberschuß des Pendels am Pol über dem Pendel des Aequators. Zwei Beobachtungen müssen im Allgemeinen genügen, um diese zwei willkürlichen zu bestimmen. Hat man deren eine Anzahl beisammen, wird man so viele Gleichungen formiren, als es an verschiedenen Breiten gemessene Längen des Pendels gibt, und indem man sie durch die Methode der verkleinerten Quadrate verbindet, wie dies in der vorigen Anmerkung geschah, wird man sie auf zwei Gleichungen reduziren, mittelst deren man die unbekannten Größen m und n bestimmen kann. Nimmt man die Theil IV. Seite 47 angegebenen Zahlen, und besonders e, e, e_2, die Irrungen, welche in die Beobachtung sich einschleichen können, so wird man haben:

$$m + n\ 0{,}00000\ \text{M.} - 0{,}990564\ \text{M.} = e$$
$$m + n\ 0{,}56672\ \text{M.} - 0{,}993867\ \text{M.} = e_1$$
$$m + n\ 0{,}84829\ \text{M.} - 0{,}995325\ \text{M.} = e_2$$

Diese Gleichungen, durch die Methode der kleinern Quadrate reduzirt, geben die folgenden:

$$m + n\ 0{,}47167\ \text{M.} - 0{,}993252\ \text{M.} = 0$$
$$m + n\ 0{,}37552\ \text{M.} - 0{,}994741\ \text{M.} = 0$$

wovon man abzieht:

$$m = 0{,}990590\ \text{M.};\ n = 0{,}005643\ \text{M.}$$

Man wird also, um die Länge des Sekundenpendels an einem Orte, dessen Breite λ ist, zu bestimmen, im Allgemeinen haben:

$$l = 0{,}990590\ \text{M.} + 0{,}005643\ \text{M.}\ \sin.^2\lambda.$$

Dieses sind die Werthe, von welchen man, um die Abplattung des Erdsphäroids zu bestimmen, im Texte Anwendung machte.

Anmerkung 10.

Ueber die Figur der Erde.

(Th. IV S. 34).

Wir haben Art. 226 angenommen, daß die Erde ein Sphäroid sei, entstanden durch die Umwälzung einer Ellipse, welche sich um ihre kleine Axe dreht, und wir sagten, daß man in diesem Fall die Abplattung des Sphäroids, nach den Werthen der beiden auf der Oberfläche gemessenen Grade des Meridians, bestimmen könne. Wir werden nun die Formel geben, welche man gewöhnlich zu dieser Bestimmung anwendet, allein ich muß zuvor noch einmal auf den Ausdruck des Halbmessers der Curvur in den elliptischen Curven zurückkommen.

Wenn ABCD (Fig. 110) die Ellipse ist, welche der Erdmeridian repräsentirt, M ein Punkt, dessen Breite l ist, so wird die Normallinie MN an diesem Punkt die vertikale oder die Richtung des Senkelfadens sein, die verlängert, durch den Zenith Z geht, und man hat MNA = l, weil der Winkel, den die Vertikallinie mit der Polaraxe bildet, die Breite so mißt, wie sie von den Beobachtungen am Himmel gegeben ist. Wäre die Erde eine Kugel, so würde die Normallinie an jedem Punkte ihrer Oberfläche dieselbe sein und gleich dem Halbmesser der Erde; allein es wechselt in der Ellipse die Länge mit der Breite, und wir müssen vor allem das Verhältniß aufsuchen, welches diese zwei Größen verbindet.

Zu diesem Zweck beschreiben wir auf der großen Axe AB einen Kreis AFB, welcher die Ellipse einschließt. Zieht man vom Punkte M die perpendikuläre Linie MP auf die Axe AB herab, und durch den Punkt M′, wo diese Ordinate den Kreis abschneidet, oder zieht die Tangente M′T, welche man mit M und

T verbindet, so wird MS im Punkt M tangent von der Ellipse sein, folglich perpendikular von MN. Machen wir den Winkel $M'OA = h$, so wird man, wenn die Winkel M' gerade sind, in den rechtwinkligen Dreiecken MNT, M,OT haben $MTN = 90^\circ - l$, $M'TO = 90^\circ - h$, folglich:

$$\text{tang. } MTP = \text{cot. } l = \frac{MP}{PT}$$

$$\text{tang. } M'TP = \text{cot. } h = \frac{M'P}{PT}$$

Nennt man a den Erdhalbmesser und b die kleine Polaraxe, so hat man durch die Eigenthümlichkeit der Ellipse:

$$MP : M'P :: b : a$$

woraus man schließt:

$$\text{cot. } h = \frac{a}{b} \text{cot. } l$$

folglich:

$$\text{sin. } h = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{cot.}^2 . h}} = \frac{b \text{ sin. } l}{\sqrt{a^2 - (a^2 - b^2) \text{ sin.}^2 . l}}$$

Oder besser, man bezeichnet durch e die Excentricität des Erdmeridians, was da gibt

$$\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2 \text{ und } b^2 = a^2 (1 - e^2):$$

$$\text{sin. } h = \frac{\sqrt{1 - e^2} \text{ sin. } l}{\sqrt{1 - e^2 \text{ sin.}^2 l}}$$

Steht dies fest, so hat man im Dreieck M'OP $M'P = a \text{ sin. } h$, folglich:

$$MP = \frac{b}{a} M'P = a \sqrt{1 - e^2} \text{ sin. } h$$

M'P ist der der Breite l entsprechende Halbmesser

der Parallele; nennt man also R diesen Halbmesser und substituirt für sin. h seinen Werth, so hat man:

$$R = \frac{a\,(1 - e^2)\,\sin.\,l}{\sqrt{1 - e^2\,\sin^2.\,l}}$$

Im Dreieck MPN hat man übrigens MP = MN sin. l, man wird also erhalten:

$$MN = \frac{a\,(1 - e^2}{\sqrt{1 - e^2\,\sin^2.\,l}}$$

Dies ist der Ausdruck der Normallinie, welche der Breite l entspricht.

In der Ellipse ist der Halbmesser der Curvur gleich dem Cubus der Normallinie, getheilt durch das Quadrat des halben Parameters. Diese letzte Größe hat zum Ausdruck $\frac{b^2}{a}$ oder $a\,(1 - e^2)$. Nennt man also ϱ den Halbmesser der Curvur, welcher der Breite l entspricht, so hat man:

$$\varrho = \frac{a\,(1 - e^2)}{(1 - e^2\,\sin^2.\,l)^{3/2}}$$

Dieser Werth nimmt mit der Breite l zu, die Curvur des Erdmeridians nimmt vom Aequator zu den Polen ab, der Halbmesser ϱ hat seinen kleinsten Werth am Aequator, man hat alsdann $\varrho = a\,(1 - e^2)$; er ist in seinem Maximum an den Polen, und man hat $\varrho = a\,\sqrt{1 - e^2}$. Da nun die einer gleichen Anzahl Graden in verschiedenen Kreisen entsprechenden Bogen den Halbmessern dieser Kreise proportionirt sind, und man stets annehmen darf, daß sehr kleine elliptische Bogen sich merklich mit den Bogen vermischen, welche ihren oskulatorischen Kreisen entsprechen, so folgt daraus, daß die Grade des

Erdmeridians vom Aequator zu den Polen zunehmen müssen, wenn die Erde, wie wir vorhin angenommen haben, ein gegen die Pole zu abgeplattetes Sphäroid ist. Das Gegentheil würde statt haben in dem Fall des in derselben Richtung verlängerten Ellipsoids. (Art. 224.)

Die vorhergehenden Ausdrücke sind sehr genau, und man wendet sie gewöhnlich in der Theorie von der Figur der Erde an (s. Puissant, Traité de Géodésie); allein sie vereinfachen sich, wo man e als eine sehr kleine Größe annimmt, wie dies bei dem Erdmeridian statt hat. Dann kann man sie in Serien entwickeln, die in Beziehung zu den Potenzen von e^2 ordinirt sind. Führt man in diese Formeln an die Stelle der Excentricität e die Abplattung α des Sphäroids ein, d. h. das Verhältniß der Differenz der zwei Axen des Ellipsoids zur größten dieser Axen, so wird man haben $\alpha = \frac{a - b}{a}$; übrigens hat man $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$; die Vergleichung dieser beiden Ausdrücke gibt $e^2 = 2\alpha$, und man wird also finden:

$$\varrho = a\,(1 - 2\alpha)\quad(1 + 3\,\alpha \sin^2 . \, l)$$

Die Halbmesser der Curvur nehmen also, wie wir gesagt haben, vom Aequator zu den Polen zu, und ihre Veränderungen sind proportionirt dem Quadrat des Sinus der Breite.

Ist c die Länge eines an der Breite l gemessenen Grades des Meridians, nennen wir π das Verhältniß des Umfangs zum Durchmesser, so wird 2π der Umfang sein, wovon c einen Grad mißt; man wird also haben $2\,\pi\,\varrho = 360$ c. Soll nun c' ebenso die Länge eines an der Breite l' gemessenen

Grades des Meridians sein, so wird man haben $2 \pi \varrho' = 360\ c'$, wovon, indem man statt ϱ und ϱ' ihre Werthe substituirt, man dann abzieht:

$$\frac{c}{c'} = \frac{1 + 3\,\alpha\ \sin^2.\ l}{1 + 3\,\alpha\ \sin^2.\ l'}$$

Löst man diese Geichung zu α auf, hat man:

$$\alpha = \frac{c' - c}{3\,(c\ \sin^2.\ l' - c'\ \sin^2.\ l}$$

Diese Formel ward von Maupertuis zuerst gegeben. Man sieht, daß es hinreicht, zwei an verschiedenen Breiten gemessene Grade des Meridians zu kennen, um daraus die Abplattung der Erde zu beweisen.

Um von dieser Formel eine Anwendung zu machen, wählen wir den von Bouguer am Aequator und in Frankreich von Delambre gemessenen Grad. Nach der Tabelle Thl. IV. S. 45 hat man:

$c = 110582{,}1$ M. $\quad \varphi = \ 1^\circ\ 31'\ \ 0'',50$
$c' = 111131{,}2$ M. $\quad \varphi' = 45\ \ \ 4\ \ 18\ ,05$

Diesen Werthen zufolge findet man:

$c' - c = 549{,}1$ M.: $3(c \sin^2. l' - c' \sin^2. l) = 166054{,}40$ M.

folglich:

$$\alpha = \frac{549{,}1}{166054{,}4} = \frac{1}{302{,}41}$$

So geben denn die zwei vorerwähnten Grade einen Werth von α, welcher dem Bruch $1/_{305}$ sehr nahe kommt und für den Ausdruck der Abplattung der Erde aus der Theorie von den Ungleichheiten des Mondes hervorgeht.

Wenn die Abplattung α bestimmt ist, wird man den Werth des halben Durchmessers a des Aequators durch die Gleichung:

$$a = \frac{\frac{360^\circ}{2\pi} c}{(1 - 2\alpha)(1 + 3\alpha \sin^2. l)}$$

haben, und daraus kann durch die Gleichung $b = a (1 - \alpha)$: auf die kleine Axe der Pole geschlossen werden. Nach den vorerwähnten Werthen von α, c, l findet man:

$$a = 6377787 \text{ M.}$$
$$b = 6446700$$

Wollte man mit der Bestimmung der Abplattung eine beliebige Zahl von Graden des Meridians, die an der Oberfläche des Erdsphäroids gemessen wurden, concurriren lassen, so müßte man die Gleichung $2\pi\varrho = 360$ c wieder vornehmen, welche, wenn man für ϱ seinen Werth substituirt, geben wird:

$$c = \frac{a\pi}{180}(1 - 2\alpha)(1 + 3\alpha \sin.^2 l)$$

oder vielmehr, indem man die Größen der Reihe α^2 übersieht, und um abzukürzen, macht:

$$m = \frac{a\pi}{180}(1 - 2\alpha); \; n = \frac{3\alpha a \pi}{180}$$

einfach:

$$e = m + n \sin.^2 l.$$

Diese Gleichung zeigt, daß die Grade, wie die Halbmesser der Krümmung vom Aequator zu den Polen, in Proportion zum Quadrat des Sinus

der Breite (Art. 216) zunehmen; m repräsentirt die Länge des Grades am Aequator und n den Ueberschuß des Grades am Pole über jenen des Aequators.

Substituirt man in der vorigen Gleichung an die Stelle von c und l ihre zu jedem Beobachtungsorte relativen Werthe, wird man so viele Gleichungen haben als gemessene Grade. Verbindet man diese Gleichungen durch die Methode der verkleinerten Quadrate — eine Methode, welche uns die unbekannten Größen des Problems so bestimmen hilft, daß die Summe der Quadrate der Irrungen, die man in den Beobachtungen begehen konnte, ein Minimum sei — so wird man diese Gleichungen auf eine Zahl reduziren, welche jener der willkürlichen, die sie einschließen, gleich kommt, d. h. zweien Gleichungen, mittelst deren man die zwei Coefficienten m und n bestimmen wird, und daraus den Werth a deduziren. Wirklich hat man beinahe:

$$\frac{n}{m} = \frac{3\alpha}{1 - 2\alpha} = 3\alpha$$

Auf diese Art haben wir den Werth α gefunden, dessen im Texte gedacht wurde.

Hier folge die Rechnung. Nach den in der Tabelle Theil IV. Seite 45 angegebenen Größen bildet man folgende Gleichungen:

$$\text{am Aequator } 110582{,}1 \text{ M.} - m - n\, 0{,}00070 \text{ M.} = e^{(0)}$$
$$\text{in Indien } 110628{,}6 \text{ M.} - m - n\, 0{,}05144 \text{ M.} = e^{(1)}$$
$$\text{in Frankreich } 111131{,}2 \text{ M.} - m - n\, 0{,}50125 \text{ M.} = e^{(2)}$$
$$\text{in Schweden } 111488{,}5 \text{ M.} - m - n\, 0{,}83890 \text{ M.} = e^{(3)}$$

und bezeichnet durch $\overset{(0)}{e}\ \overset{(1)}{e}\ \overset{(2)}{e}\ \overset{(3)}{e}$ die Irrungen, welche in die Messung der Grade sich einschleichen können.

Nach den bekannten Regeln muß man jede dieser Gleichungen durch den Coefficienten der unbestimmten Größe m, die sie einschließt, multiplizieren, und dann die daraus resultirenden Gleichungen summiren. Wenn dieser Coefficient die Einheit ist, so findet man einfach:

$$4\ m + n\ 1{,}39229\ \mathfrak{M}. - 443830{,}4\ \mathfrak{M}. = 0$$

Indem ich ebenso jede Gleichung mit dem Coefficienten n multiplizirte, und ihre Summe mit Null gleich machte, fand ich:

$$m\ 1{,}39229\ \mathfrak{M}. + n\ 0{,}95765\ \mathfrak{M}. - 155006{,}27\ \mathfrak{M}. = 0$$

Die Auswerfung des m und n unter diesen zwei Gleichungen gibt:

$$m = 110578{,}54\ \mathfrak{M}.;\ n = 1089{,}036\ \mathfrak{M}.$$

Man wird also für die Länge des Grades an der Breite l haben:

$$c = 110578{,}54\ \mathfrak{M}. + 1089{,}04\ \mathfrak{M}.\ \sin.^2 l$$

und dann:

$$\text{Abplattung}\ a = \frac{1}{304{,}6}$$

halber Durchmesser des Aequators a = 6377284 M.
kleine Axe der Pole . . . . b = 6356641 M.

Das sind auch die im Texte (Theil IV. Seite 45) angegebenen Werthe.

Zusätze des deutschen Uebersetzers *.

(Zu Th. I S. 48.)

Das Riesenteleskop des Grafen Rosse, welches seit 1845 aufgestellt ist, hat folgende Ergebnisse geliefert: Nebelflecken, die bisher mit den besten Gläsern nur als solche erkannt wurden, haben sich in Sterngruppen aufgelöst; andere bereits früher betrachtete, zeigen jetzt einen Glanz und eine Klarheit, die zu ihrer frühern sich verhalten, wie das strahlende Licht der Venus gegen das trübe des Saturn. Auch für die Beobachtung der Fixsterne erster Größe leistet dieses Teleskop Ausgezeichnetes. So z. B. erscheint Regulus in achthundertfacher Vergrößerung, frei von allem optischen Rande, zwar nicht als wirkliche Scheibe, aber als rundes Bild, dem voltaischen Lichte zwischen Kohlenspitzen vergleichbar und ohne Abirrung.

(Zu Th. I S. 49.)

Nach Herschel sind die Sternschnuppen Anfänge der Zusammenballung eines den ganzen Weltraum erfüllenden Weltenbildungsstoffes. Nach dem Gravitationsgesetz ist wahrscheinlich, daß sich ganze Systeme also gebildeter Sternschnuppen um einen ge-

* Pontecoulants Werk war schon im Jahre 1838 abgeschlossen, die seitdem auf dem Gebiete der Astronomie gemachten Entdeckungen sind mitunter zu wichtiger Art, als daß sie in einem astronomischen Handbuche mit Stillschweigen übergangen werden dürften, daher hoffen wir, dem deutschen Leser in diesen Nachträgen keine überflüssige Zugabe zu bieten.

meinsamen Schwerpunkt vereinigen, der dann die eigentliche Bahn um die Sonne beschreibt, während die dem System angehörigen einzelnen Körperchen um diesen Schwerpunkt sich drehen. Unter dieser Voraussetzung müßte die alljährlich wiederkehrende Sternschnuppen-Erscheinung um den 10. August und 13. November dem Vorbeigange zweier solcher Systeme zugeschrieben werden, die ihre Bahnen gleichfalls in einem Erdenjahre zurücklegten, und sich zu jenem Zeitpunkt gerade in oder nahe bei den Durchschnittspunkten mit der Erdbahn (den Knoten) befänden. Und zwar käme das Augustsystem der Richtung der Erde in ihrer Bahn in einer Weise entgegen, daß die Sichtbarkeit der Meteore für den Beobachter auf der nördlichen Halbkugel begünstigt würde, was den Umstand bedingt, daß das Phänomen im August regelmäßiger eintritt als im November. Durch Resultate im Jahre 1841 ist die auf erwähnte frühere Beobachtungen begründete Vorausberechnung bestätigt werden, so daß man in der Hauptsache an der Richtigkeit der hier entwickelten Erklärung nicht zweifeln darf.

(Zu Th. I S. 177.)

Arago's Behauptung, daß die Sonne keine Atmosphäre habe, wird von Herschel wie folgt widerlegt: Der an und für sich dunkle, den Planeten wahrscheinlich ähnliche Sonnenkörper ist mit einer dreifachen Schichte umgeben, welche sich in seiner allgemeinen Atmosphäre bildet. Diese ist durchsichtig, elastisch wie unsere Luft und im Verhältniß der Anziehungskraft der Sonne und ihres eigenen Wesens von großer Ausdehnung. Bis auf eine bedeutende Höhe führt sie keine Wolken; ein farbloser, klarer, durchsichtiger, wohl 100 Meilen hoher Raum befindet sich unmittelbar über dem eigentlichen Sonnenkörper, dem Sonnenkern, und bildet die erste

Schichte, worauf eine, die zweite Schichte bildende Wolkendecke folgt. Diese Wolken gleichen den planetarischen und lagern gedrängt aneinander. Hierauf erst kommen die leuchtenden Wolken als dritte äußerste Schichte. Die Beschaffenheit dieser leuchtenden Wolken ist eine ganz andere als die der niedern Schichten, sie bilden in ihrer Continuität einen Lichtmantel und verhüllen uns so den Anblick des Sonnenkörpers mit seinen ihn näher umgebenden andern atmosphärischen Schichten. Zuweilen aber trennt sich diese äußerste Sonnenhülle leuchtender Wolken in größere Massen und durch die entstehenden Risse hindurch wird dann zuerst die unmittelbar darunter liegende Schichte grauerer Wolken sichtbar, welche Decke mitunter auch reißt, wodurch der dunkle Sonnenkörper selbst sichtbar wird.

(Zu Th. II S. 156.)

Olbers Hypothese von den Fragmenten eines großen Planeten, der einst zwischen Jupiter und Mars befindlich gewesen, und dessen Zersplitterung den teleskopischen Planeten die Entstehung gegeben haben soll, scheint durch den am 8. Dez. 1845 vom Postsekretär Henke zu Drießen im Brandenburgischen entdeckten fünften teleskopischen Planeten noch mehr Begründung zu erhalten, denn Henke bemerkte ihn zuerst als er die Vesta im Sternbilde des „Stiers“ von ihrer am 1. Dez. stattgefundenen Opposition zurückkehrend beobachtete, und da gewahrte er drei Grad unter der Vesta nach Westen zu einen Stern neunter Größe. Die Bahn hat der Form nach die meiste Aehnlichkeit mit der Juno, die Umlaufszeit kommt jener der Juno am nächsten. Dieser Planet geht in 1565 Tagen um die Sonne. Die Neigung seiner Bahn gegen die Erdbahn ist ungefähr 8°. Der Entdecker theilte außerdem folgende Beobachtungen mit: „Seine Geschwindigkeit nimmt jetzt ab, so daß

nächstens sein Stillstand und demnächstiger Rücklauf zu erwarten ist; auch die Vesta ist jetzt in ihrem Rücklauf begriffen und ihre Bewegung bietet, mit der des neuen Planeten verglichen, eine große Aehnlichkeit dar. Dieser dürfte übrigens einen sehr unbedeutenden Durchmesser haben, da er schon in der Oppositionszeit von so geringer Helligkeit ist, während Vesta sich von achter Größe zeigt." Man hat ihm dem Namen „Asträa" gegeben.

(Zu Th. III S. 18.)

Am 27. und 28. Januar 1846 bot der Biela'sche Komet, obgleich er der Erde schon mehre Male näher gekommen war, als jetzt, eine noch nie gesehene Erscheinung dar. Er bestand aus zwei, nahe drei Minuten von einander entfernten, aber bestimmt von einander zu unterscheidenden Nebeln. Die relative Stellung beider gegen einander änderte sich in den beiden Tagen so gut wie gar nicht. Eine Andeutung von einem Schweife findet sich bei beiden; die Richtung der Schweife ist etwa senkrecht auf der Verbindungslinie beider Kometenköpfe. Die Erscheinung zeigte sich sogleich in einem kleinen Fernrohr. Der große Refraktor, in dessen Sucher sie zu erkennen war, bestätigte sie vollkommen. Der schwächere Kometenkopf ging nördlich voran. Die trübe Witterung verhinderte die Beobachtung, der Entwicklung dieser merkwürdigen Bildung zu folgen. Die Rechnung hat gezeigt, daß der wirkliche Abstand dieser beiden Köpfe oder Lichtmittelpunkte etwa 15,000 geogr. Meilen beträgt und nicht ganz genau in der verlängerten Richtung von der Sonne zum Kometen liegt.

(Zu S. 19.)

Am 26. Juni 1846 ist von Peters in Neapel ein neuer Komet entdeckt worden. Er steht im Scor-

pion, Richtung von Süd nach Nord. Aus drei Beobachtungen am 26., 27., 28. Juni hat der Entdecker bereits die Bahn des Kometen berechnet: Durchgang durchs Perihel: 12. April 8 St. 7 Min. 29″,5 mittlere Zeit von Neapel; Länge des Perihels: 166° 59′ 34″; Länge des aufsteigenden Knotens 259° 19′ 31″; Neigung der Bahn: 44° 45′ 31″; Abstand im Perihel: 0,7784; Bewegung: rechtläufig. Der Komet erschien als ein Nebelfleck und stand am 28. Juni 11 St. 35′ 49″, Rektascension 227° 49′ 16″, südliche Abweichung 20° 14′ 28″.

(Zu S. 29.)

Nicht nur von den Kometen, sondern auch von dem Monde ist wegen seiner geglaubten zunehmenden Annäherung zur Erde eine ähnliche Katastrophe für die Erde von Einigen befürchtet worden, doch auch diese Besorgniß ist ohne Grund. Pezold sagt in seinem „naturhistorischen Taschenbuch f. 1846″: Vergleichen wir die von den alten griechischen Beobachtern uns überlieferten Angaben in Beziehung auf die Zeit einer Umwälzung des Mondes und der Erde mit den entsprechenden Beobachtungen der neuern Zeit, so finden wir das überraschende Resultat, daß diese Umlaufszeit und somit auch die mittlere Entfernung zwischen Mond und Erde in den letzten zwei Jahrtausenden sich fortwährend verringert hat, daß also, wenn diese Abnahme ohne Aufhören fortschreitet, der Mond endlich auf die Erde fallen und vermuthlich ihren Untergang herbeiführen wird. Diese befremdende Ausnahme von einem außerdem allgemein gültigen Naturgesetz hatte schon seit langer Zeit die Astronomen beschäftigt, ohne daß sie eine genügende Erklärung dafür hätten finden können. Endlich gelang es Lagrange, die Ursache dieser Erscheinung zu ergründen und zugleich ihre geringe Gefährlichkeit für das Bestehen unserer Erde nachzuweisen. Er

fand nämlich auf dem Wege der mathematischen Analyse, daß bereits seit mehrern Jahrtausenden die Bahn unserer Erde, in Folge der Störungen, denen sie ausgesetzt ist, immer mehr von ihrer elliptischen Form in eine Kreisbahn übergehe, ohne daß hierdurch ihre Umlaufszeit um die Sonne und ihre mittlere Entfernung von derselben geändert werden könne. Er fand ferner, daß nur diese Aenderung der Gestalt der Erdbahn es ist, welche, indem sie die verschiedenen Entfernungen zwischen Sonne und Mond, hiemit ihre gegenseitigen Einwirkungen abändert, die Annäherung des Mondes an die Erde bewirkt hat; ferner auch noch, daß alle diese Erscheinungen nur periodischer Natur seien, daß in spätern Jahrtausenden die Erdbahn die mehr kreisförmige Gestalt wieder ablegen und in eine mehr elliptische übergehen wird, und daß sich der Mond dann in gleicher Weise wieder von der Erde entfernen müsse, wie er sich ihr bis jetzt genähert hat, ohne daß jemals ein völliges Herabstürzen zu befürchten sei.

Register.

Aberration oder Abirrung des Lichtes. Die scheinbare Bewegung der Himmelskörper, welche aus der Bewegung der Erde und aus der successiven Durchlassung des Lichtes, das sie uns zusenden, entsteht. Ihre Wirkung ist, daß wir die Sterne in einer ganz andern Position sehen, als in derjenigen, welche sie wirklich am Himmel einnehmen (Art. 25 und 71).

Abplattung der Erde oder eines Planeten ist der Ueberschuß des Durchmessers seines Aequators, dieser als Einheit genommen, über die Polaraxe. So z. B. beträgt die Abplattung der Erde gegen $1/_{300}$ ihres Halbmessers oder 2,8 geogr. Meilen, so daß also der Polardurchmesser der Erde gegen 5,6 Meilen kleiner ist als ihr Aequatorialdurchmesser, welcher nahe 1719 geogr. Meilen beträgt.

Achromatische Gläser nennt man solche Fernröhren, welche mit solchen Gläsern construirt sind, daß sie keine Regenbogenfarben hervorbringen (Art. 17).

Aequator, der größte Kreis der Sphäre, senkrecht von der Polarlinie oder der Weltaxe. Der Einschnitt dieser Ebene mit der Erdoberfläche bildet den Erdäquator. Der Aequator theilt die Erdkugel und das Himmelsgewölbe in zwei gleiche Halbkugeln, in die nördliche und südliche (Art. 2).

Aequatorial oder parallaktische Maschine, ein Instrument, mittelst dessen man einem Stern auf allen Punkten seines täglichen Umlaufs folgen kann (Art. 22).

Aequinoktium, die Zeit, in welcher die Sonne den Aequator durchschneidet, um von der südlichen Hemisphäre in die nördliche, und umgekehrt hinüberzugehen. Aequinoktialpunkte heißen die beiden Einschnittspunkte der Ekliptik und des Aequators (Art. 30). Die Frühlingsgleiche wird mit dem Zeichen des Widders bezeichnet. Von hier aus werden alle Rektasceensionen und Längen der Gestirne gezählt.

Aerolithen (Luftsteine) bilden sich in der Atmosphäre oder durchschneiden diese, indem sie zur Erde fallen (Art. 6 und 61).

Anomalie eines Planeten ist sein rechtwinkeliger Abstand von seinem Perihelium oder Aphelium. Je nach der supponirten Bewegung des Planeten heißt diese Anomalie die wirkliche, mittlere oder excentrische (Art. 38).

Anomalistisch heißt der Umlauf eines Planeten von seinem Durchgang durchs Perihel bis zur Wiederkehr zu demselben Punkt (Art. 75).

Aphelium, der Punkt der Bahn eines Planeten, wo er von der Sonne am weitesten entfernt ist.

Apogeum, Punkt der Mondbahn oder der scheinbaren Sonnenbahn, wo sie der Erde am nächsten ist.

Apsiden, generischer Ausdruck zur Bezeichnung der zwei Punkte der Bahn eines Planeten, wo dieser in seinem weitesten oder geringsten Abstand vom Mittelpunkt seiner Bewegung ist. Aphelium heißt die obere Apside, Perihelium die untere Apside; die Linie, welche durch den Mittelpunkt der Bahn geht und diese beiden Punkte verbindet, ist die Apsidenlinie.

Argument der Breite ist die Distanz eines Planeten vom aufsteigenden Knoten seiner Bahn, diesen Abstand aus der Sonne gesehen, oder ist der Winkel seines Radius Vector mit der Knotenlinie der Bahn. Von diesem Winkel hängt die Breite des Planeten ab, daher die Benennung desselben.

Arktisch heißt die am nördlichsten Punkt des Himmels befindliche Constellation. Arktischer Pol ist das nörd=

lichste Ende der Erdaxe; Arktischer Kreis ist derjenige, welchen der Pol der Ekliptik durch seine tägliche Bewegung beschreibt.

Asteroiden heißen die teleskopischen Planeten Vesta, Juno, Ceres und Pallas (Art. 104).

Asträa, neuentdeckter teleskopischer Planet (Art. 104).

Astronomische Uhr (Art. 20).

Atmosphäre (die) ist eine gasige Substanz, welche die Erde, die Sonne und andere Himmelskörper umgibt, der Mond aber hat keinen Dunstkreis (Art. 60).

Attraktion oder Gravitation, eine Eigenschaft der Materie, welcher zufolge alle Naturkörper unaufhörlich sich gegenseitig anziehen (Art. 178).

Austral ist synonym mit „Meridional“, als Gegensatz von „Nördlich“.

Axe der Erde oder eines Planeten ist die imaginäre Linie, um welche der Himmelskörper seine drehende Bewegung zu machen scheint; die Enden dieser Axe heißen die Pole, und die Ebene, welche durch den Mittelpunkt des Gestirns geht, das senkrecht von ihm ist, bildet seinen Aequator.

Azimuth ist der Winkel zwischen dem nördlichsten Punkt des Horizonts, und dem Orte, wo ein Stern auf- oder untergeht (Art. 2).

Bahnen sind krumme Linien, welche die Gestirne um den Mittelpunkt ihrer Bewegung beschreiben.

Boliden, lichte Meteore, welche gewöhnlich die Gestalt von Feuerkugeln haben, die mit mehr oder minder großer Geschwindigkeit die Atmosphäre durchkreuzen (Art. 61).

Breite eines Gestirns ist dessen Distanz von der Ekliptik, die in dem größten Kreise gemessen worden, welcher durch den Mittelpunkt des Gestirns, und durch die Pole der Ekliptik geht. Die Breite wechselt wie die Deklination von 0° bis 90°; sie ist nördlich oder südlich, je nach der Hemisphäre, in welcher das Gestirn situirt ist. Jeder Kreis, welcher durch die Pole der Ekliptik geht, heißt Breiten-

kreis, weil er die Breite messen hilft (Art. 24). Geographische Breite ist die Distanz eines Ortes auf der Erde vom Aequator, sie hat den Bogen des Meridians zum Maße, welcher zwischen der Ebene des Aequators und dem Zenith des Beobachters begriffen ist. Die Breite ist für jeden Ort der Erde gleich der Polhöhe (Art. 134).

Brennpunkte einer Ellipse sind die zwei Punkte ihrer großen Axe, in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte (Art. 36).

Brennpunkt einer Linse, in ihm vereinigen sich die parallelen Radien, welche sie durchschneiden, nach ihrer Refraktion.

Brennpunkt eines Fernglases, gemeinschaftlicher Brennpunkt des Objektivglases und des Augenglases (Art. 15).

Centrifugalkraft, die Tendenz eines in einer krummlinigen Bahn sich bewegenden Körpers, vom Mittelpunkte dieser Curvur sich zu entfernen (Art. 63 und 173).

Centripetalkraft oder Centralkraft ist die Kraft, welche einen Körper gegen den Mittelpunkt seiner Bewegung hinzieht; die Wirkung ist stets die der Centrifugalkraft entgegengesetzte (Art. 173).

Ceres, teleskopischer Planet (Art. 104).

Complement eines Bogens oder eines Winkels ist die Differenz dieses Bogens oder dieses Winkels um 90°.

Configuration d. i. die Stellung mehrer Gestirne im Verhältniß zu andern.

Conjunktion, die Stellung zweier Sterne, welche sich in gleicher Länge, obschon nicht in gleicher Breite befinden. Im Neumonde ist der Mond in Conjunktion mit der Sonne.

Constellation, ein Sternenhaufen, welcher seinen Namen, der scheinbaren Aehnlichkeit seiner Gestalt halber, von einem Thiere borgte, mitunter auch aus der Mythologie oder von einem Gegenstande, der in Kunst und Wissenschaft von praktischem Nutzen ist.

Cosinus, die trigonometrische Linie, nämlich der

Theil des zwischen dem Fuß des Sinus eines Bogens und dem Mittelpunkt des Umfangs begriffenen Halbmessers. Der Cosinus eines Bogens ist gleich dem Sinus des Complements dieses Bogens. So ist also der Cosinus von 50° dasselbe, was der Sinus von 40°.

Cotangente, eine trigonometrische Linie, d. i. die Tangente des Complements eines gegebenen Bogens. Die Cotangente des Bogens von 50° ist dasselbe, was die Tangente des Bogens von 40°.

Cubus ist das Produkt einer Zahl, die zweimal mit sich selbst multiplizirt, so z. B. ist 27 der Cubus von 3.

Culmination eines Sterns, d. i. dessen Uebergang in den Meridian.

Cyclus, Periode, nach welcher ein Stern seinen Umlauf von Neuem und in derselben Ordnung beginnt.

Deklination, Distanz eines Gestirns vom Aequator, hat zum Maß den Bogen des Meridians, welcher zwischen diesem Gestirn und der Ebene des Aequators enthalten ist. Die Deklination wechselt zwischen 0 bis 90°, sie ist südlich oder nördlich, je nachdem der Bogen südlich oder nördlich vom Aequator ist. Deklinationskreis nennt man jeden großen Kreis der Himmelskugel, welcher durch die Pole der Welt geht (Art. 21).

Dichtheit eines Körpers ist die Quantität eines Stoffes, welche dieser in ein gegebenes Volumen einschließt. Das Verhältniß der Dichtheiten zweier Körper kann also sehr von ihren Dimensionen differiren, was auch bei den Planeten der Fall ist, wenn man diese miteinander oder mit der Sonne vergleicht. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Dichtheiten der Planeten im Verhältniß ihrer Distanzen von der Sonne abnehmen, dennoch machen Venus und Uranus eine Ausnahme von dieser Regel (Art. 183). Mittlere Dichtheit der Erde s. Art. 218.

Dichotom sagt man vom Monde, wenn dessen Scheibe nur zur Hälfte erleuchtet ist, was in den Quadraturen statt hat.

Direkte Bewegung sagt man von der Bewegung

eines Gestirns in derselben Richtung wie die scheinbare Bewegung der Sonne, d. h. von West nach Ost, in der Reihefolge der Zodiakalzeichen.

Dreieck, der Raum zwischen 3 sich schneidenden Linien, das Dreieck ist rechtlinig oder sphärisch, je nachdem seine Seiten gerade Linien oder Bogen des größten Kreises sind. Ein Dreieck besteht aus 6 Theilen: 3 Winkeln und 3 Seiten.

Durchmesser eines Kreises, die Linie, welche durch den Mittelpunkt gezogen, und deren beide Enden an den Umfang angrenzen. Der scheinbare Durchmesser eines Gestirns ist der Winkel, unter welchem wir ihn beobachten, der wirkliche Durchmesser ist dieser Winkel, aber berichtigt von den Einflüssen der Refraktion und der Parallaxe, d. h. so wie er von einem Beobachter im Mittelpunkte der Erde aus gesehen würde, wenn es keine Atmosphäre gäbe (Art. 35).

Ebbe und Flut, Ursache dieser Erscheinung s. Art. 180, wie man sie vorher berechnet (Art. 247). Atmosphärische Ebbe und Flut oder Oscillationen der Atmosphäre (Art. 249).

Ekliptik, der größte Kreis der Sphäre in deren Ebene die scheinbare Bewegung der Sonne oder vielmehr die jährliche Bewegung der Erde bewirkt wird (Art. 12). Zu dieser Ebene bringen die Astronomen die andern Himmelskörper in Beziehung. Sie ist gegen die Ebene des Aequators 23° 28′ geneigt, aber diese Neigung ist einer kleinen Abweichung von 0″,4885 jährlich unterworfen (Art. 39 und 233). Ekliptik heißt sie, weil Sonne und Mond, nur wenn sie sich zugleich in dieser Ebene befinden, sich verdunkeln (Art. 55).

Eklipse, das Verschwinden eines Gestirns, bewirkt durch das Dazwischentreten eines dunklen Körpers zwischen den Stern und den Beobachter, der Art sind die Sonnen- und Mondfinsternisse, die Eklipsen der Jupiter- und Saturnmonde u. s. w. (Art. 55, 90 und 97).

Elemente eines Planeten sind die 6 Größen, welche

die Figur und Position seines elliptischen Kreises, und den Ort des Planeten auf dieser Bahn in einem gegebenen Moment bestimmen. Diese Größen deducirt man von der Beobachtung (Art. 108).

Ellipse, eine der krummen Linien, welche aus dem Einschnitt eines abgestumpften Kegels durch eine Ebene resultiren, daher auch ihre Benennung „Kegelschnitte" (Art. 36).

Epicyklus, ein kleiner Kreis, dessen Mittelpunkt sich um den Umfang eines größern Kreises bewegt.

Epoche eines Planeten heißt der Ort, welchen dieser in einem bestimmten Moment einnimmt, von welchem man die Zeit zu zählen beginnt (Art. 108).

Erde hat eine doppelte Bewegung, eine transferirende im Raume (Art. 64), und eine Umdrehung um ihre eigene Axe (Art. 63), ihre Gestalt (Art. 220), ihre Ausmessung (Art. 224).

Evektion, eine der größten Störungsgleichungen des Mondes, durch die Einwirkung der Sonne erzeugt.

Excentricität, Distanz des Mittelpunktes einer Ellipse vom Brennpunkt, getheilt durch ihre große Axe.

Fackeln heißen die Punkte der Sonnenfläche, welche heller leuchten als der übrige Theil der Scheibe.

Fläche, veranlaßt durch den Radius Sektor eines Planeten oder Satelliten in dem Mittelpunkt seiner Bewegung.

Fluglinie ist eine gerade oder krumme Linie, welche einen Körper beschreibt, der in Bewegung begriffen ist.

Geocentrischer Ort eines Planeten ist seine Länge und Breite, wie sie der Beobachter vom Mittelpunkt der Erde aus sehen würde.

Gerade Aufsteigung s. Rektascension.

Gestalt der Himmelskörper (Art. 212), der Erde (Art. 220), der Saturnringe (Art. 100).

Gleichung, ein Ausdruck, der in der Astronomie gebraucht wird, um die Verbesserung zu bezeichnen, welcher man die Bewegung eines Sterns unterwerfen muß,

welche approximativ bestimmt wurde, damit man seine wirkliche Bewegung erfahre.

Gleichung des Mittelpunktes bezeichnet insbesondere, was man der mittlern Länge hinzugeben muß, um die wirkliche Länge zu erhalten, d. h. die Verbesserung, welcher man eine Bewegung unterwerfen muß, die in einer kreisförmigen Bahn berechnet wurde, damit man die Bewegung in der Ellipse erhalte (Art. 38).

Gleichung der Zeit, Differenz zwischen der durch die Wiederkehr der Sonne in den Meridian bezeichneten wirklichen Zeit, und jener, welche die Wiederkünfte eines Gestirns in dieselbe Ebene bezeichnen, wenn dieses in einem tropischen Jahre den Aequator in gleichförmiger Bewegung durchlaufen würde (Art. 40 und 155).

Gnomon, ein Obelisk oder eine senkrechte Säule, welche einen Schatten hinter sich wirft, fällt dieser auf die Mittagslinie, so zeigt er den Uebergang der Sonne in den Meridian an. Die Alten maßen mittelst des Gnomons die Höhen und Deklinationen dieses Gestirns (Art. 156).

Goldene Zahl s. Art. 163.

Grad ist der 360. Theil des gesammten Umfangs.

Gravitation oder allgemeine Schwere ist die Kraft, welche bewirkt, daß die Himmelskörper sich gegenseitig anziehen (Art. 178).

Heliakisch sagt man von dem Auf- oder Untergang eines Sterns, der kurz vor Sonnenaufgang oder kurz nach Sonnenuntergang am Horizont bemerkt wird. Der kosmische, d. h. gleichzeitig mit der Sonne stattfindende Aufgang geht dem heliakischen Aufgang voraus, der kosmische Untergang hingegen folgt auf den heliakischen Untergang.

Heliocentrischer Ort der Planeten ist der von der Sonne aus gesehene Ort derselben am Himmel, im Gegensatze mit dem geocentrischen, d. h. von der Erde aus gesehenen Ort derselben.

Heliometer, ein Instrument, womit man die Durchmesser der Sonne und der Planeten weit genauer ausmißt, als mit dem gewöhnlichen Mikrometer.

Hesper oder Vesper heißt die Venus, weil sie Abends nach dem Untergang der Sonne zuerst bemerkt wird.

Höhe eines Gestirns ist die Distanz desselben vom Horizont, welche auf dem vertikalen Kreise gemessen wird, der durch dessen Mittelpunkt und den Zenith des Beobachters geht (Art. 2).

Hundstage, die Zeit vom 22. Juli bis 23. August, oder die Zeit, während welcher die Sonne im Zeichen des „Löwen" weilt.

Hyperbel, eine krumme Linie, eine der sogenannten drei Kegelschnitte.

Juno, teleskopischer Planet s. Art. 104.

Jupiter, größter aller Planeten (Art. 88), seine Monde (Art. 90), seine Ungleichheiten (Art. 190).

Kardinalpunkte heißen die vier Punkte, welche den Horizont in gleiche Theile absondern (Art. 1).

Keplersche Gesetze nennt man die drei allgemeinen Prinzipien, welche die planetarischen Bewegungen regeln, und die Grundlage der ganzen theorischen Astronomie bilden (Art. 107).

Knoten, die beiden Punkte, wo die Bahn eines Planeten oder Kometen die Ebene der Ekliptik schneidet. Der aufsteigende Knoten ist jener, welchen das Gestirn durchschneidet, wenn es sich gegen den Nordpol erhebt; der niedersteigende jener, wo das Gestirn die Ekliptik durchschneidet, wenn es gegen den südlichen Pol herabsteigt. Die Knotenlinie ist jene gerade Linie, welche diese beiden Punkte verbindet.

Koluren nennt man die zwei großen Kreise der Sphäre, welche sich rechtwinklig an den Polen durchschneiden, der eine geht durch die Aequinoktialpunkte, der andere durch die Solstitialpunkte, d. h. durch die Punkte, wo die Ekliptik die beiden Wendekreise berührt.

Kometen unterscheiden sich von den Planeten dadurch, daß sie den Himmel in den verschiedensten Richtungen durchlaufen, sie beschreiben um die Sonne sehr längliche

Ellipsen (Art. 4), ihre Natur (Art. 128), ihre Störungen (Art. 207).

Länge eines Gestirns, d. i. der Bogen in der Ekliptik zwischen dem Breitenkreis, welcher durch seinen Mittelpunkt und den Frühlingspunkt geht. Die Längen berechnet man wie die Rektascensionen von 0° bis 360° in der Richtung, welche die Sonne auf ihrem Laufe nimmt. Länge und Breite eines Sterns lassen sich nicht durch direkte Beobachtung bestimmen, sondern werden von der beobachteten Rektascension und Deklination, durch trigonometrische Formeln deducirt. Geographische Länge ist die Winkeldistanz des Meridians eines Ortes vom Meridian, welcher als Ausgangspunkt dient. Die geogr. Länge wechselt von 0° bis 180°, sie ist östlich oder westlich, je nachdem der Ort östlich oder westlich vom ersten Meridian sich befindet (Art. 139).

Licht, Zersetzung des Sonnenlichts (Art. 17). Geschwindigkeit des Lichts (Art. 118). Zodiakallicht, ein schwacher Schein, der im März nach Sonnenuntergang bemerkt wird (Art. 45).

Linse, ein auf beiden Seiten convexes Glas, von geringer Dicke, das bei der Construktion von Fernröhren angewendet wird.

Lucifer heißt die Venus, wenn sie kurz vor der Sonne am Morgenhimmel sichtbar ist.

Mars ist zwischen der Erde und den teleskopischen Planeten situirt (Art. 85).

Merkur, der Planet, welcher der Sonne am nächsten ist (Art. 81).

Meridian, größter Kreis der Sphäre, geht durch die Pole der Welt, ist folglich senkrecht vom Aequator, bezeichnet den höchsten Punkt der krummen Linien, welche die Sterne in ihrer täglichen Bewegung beschreiben. Erdmeridian s. Art. 2 und 23.

Milchstraße s. Art. 11.

Mittagslinie, der Durchschnitt der Ebene des Me=

ridians mit der des Horizonts, sie gibt die Richtung von Süd nach Nord.

Mittagsrohr oder Passageninstrument, bewegt sich auf einer horizontalen Axe in der Ebene des Meridians auf und ab.

Monat, Mondmonat, besteht aus 27 Tagen 7 St. 43′5″, synodischer Monat aus 29 Tagen 12 St. 44′3″ (Art 49).

Mond, Trabant der Erde, sein synodischer Umlauf (Art. 49), seine Phasen (Art. 52), seine Ungleichheiten (Art. 51 und 193), seine Atmosphäre ist unmerklich (Art. 61), sein Einfluß auf die Jahreszeiten und organischen Wesen (Art. 62).

Mondcyklus oder goldene Zahl ist die 19jährige Periode, welche die Neu= und Vollmonde wieder auf dieselben Tage des Sonnenjahrs zurückführt, folglich zu denselben Punkten der Ekliptik wie 19 Jahre vorher (Art. 53 und 163).

Nadir, der Punkt des Himmels, der senkrecht unter dem Beobachter steht, der tiefste Punkt des Himmels, dem Zenith gerade entgegengesetzt.

Nebelsterne s. Art. 5.

Neigung nennt man den Winkel zweier Ebenen gegen einander.

Nordlicht, ein starker Schein, den man zuweilen in der Polargegend bemerkt; wenn es im Südpol gesehen wird, heißt es Australlicht.

Nutation, eine periodische Bewegung, welche die Erdaxe von der senkrechten Linie zur Ekliptik entfernt, um welche sie durch die Präcession der Aequinoktien einen Konus beschreiben würde (Art. 25). Die Nutation ist eine Folge der Anziehungskraft des Mondes auf die Erde, ihre Ausdehnung ist 9″,25, und ihre Periode die eines Umlaufs der Mondknoten. Dadurch entstehen leichte Veränderungen in der Schiefe der Ekliptik und in der Position der Aequinoktien (Art. 233).

Nutation des Mondes s. Art. 241.

Objektivglas, im Fernrohr, ist gegen den zu beobachtenden Gegenstand gerichtet.

Oktant, ein zur See gebrauchtes Instrument, um die Höhe der Sonne oder die Distanz des Mondes von den Sternen oder von der Sonne zu messen (Art. 136).

Opposition oder Gegenschein heißt es, wenn ein Gestirn dem andern gerade gegenüber steht.

Pallas, teleskopischer Planet (Art. 104).

Parabel, eine krumme Linie, die zu den drei Kegelschnitten gehört. Mittelst ihrer berechnet man Kometen, die man zum erstenmal zu bemerken glaubt (Art. 123).

Parallaxe ist die Differenz zwischen dem scheinbaren Ort eines Gestirns und der Position, die es einnehmen würde, wenn man es vom Mittelpunkt der Erde aus bemerken würde (Art. 27) — **Parallaxe der Höhe** muß man zur scheinbaren Höhe eines Sterns hinzurechnen, um seine wirkliche Höhe zu haben. — **Horizontale Parallaxe** ist die eines am Horizont befindlichen Sterns. — **Jährliche Parallaxe** ist der Winkel, unter welchem der halbe Durchmesser der Ekliptik vom Mittelpunkt eines Sterns aus gesehen würde (Art. 27).

Parallelkreise s. Art. 2.

Passageninstrument s. Art. 19.

Perigeum, Punkt der Mondscheibe oder der scheinbaren Sonnenscheibe, welcher der Erde am nächsten; das Entgegengesetzte bedeutet **Apogeum**.

Perihelium ist der der Sonne nächste Punkt einer Planetenbahn, wie **Aphelium** der von der Sonne entfernteste Punkt der Bahn ist.

Perturbationen heißen die **Störungen** eines Planeten. Seine elliptische Bewegung ist eine Folge von der Anziehungskraft der Sonne. Allein auch die übrigen Planeten wirken durch ihre Attraktion auf jeden einzelnen Planeten, obschon in geringerem Maße, und bringen dadurch kleine Aenderungen in der reinen elliptischen Bewegung jedes Planeten hervor, diese nennt man Perturbationen, sie unterscheiden sich in **periodische**, welche nur

auf den Ort des Planeten in seiner Bahn Einfluß haben, und nach bestimmten Perioden wiederkehren, und in sekuläre, welche auf die Elemente der Bahn wirken.

Planeten, sind mit einer eigenen Bewegung von West nach Ost begabt (Art. 3), allgemeine Gesetze ihrer Bewegungen (Art 106), ihre Umdrehung (Art. 89), Ungleichheiten (Art. 186) ihre Elemente (Art. 114).

Pole sind die Punkte, um welche sich die Himmelskugel täglich zu drehen scheint (Art. 2). Allgemein bezeichnet man damit die Enden der Axe, um welche sich ein Körper dreht, die Pole eines größten Kreises der Sphäre sind die zwei Punkte, die sich 90° von allen Punkten dieses Kreises entfernt befinden.

Präcession der Aequinoktien (Art. 25 und 30). Erklärung dieses Phänomens und seiner Gesetze (Art. 232).

Quadrat einer Zahl ist das Produkt dieser Zahl durch sich selbst.

Quadratur ist der Standpunkt eines Gestirns, dessen Winkelabstand von der Sonne in Beziehung zur Ekliptik 90° beträgt.

Quadrant des Zirkels, ein Instrument der Alten, womit die Höhen der Gestirne, ihr Abstand vom Zenith, ihre Deklination u. s. w. gemessen werden, Mauerquadrant heißt es, wenn es in vertikaler Richtung an eine Mauer befestigt wird.

Radius oder Halbmesser ist die vom Mittelpunkt eines Kreises zu seinem Umfang gezogene Linie. Radius Vector, die vom Brennpunkte der Ellipse oder Parabel bis zu irgend einem Punkte seines Umkreises gezogene Linie.

Rectascension oder gerade Aufsteigung eines Gestirns ist der zwischen dem durch dieses Gestirn gehenden Meridian und dem beweglichen Ort des Aequinoktiums oder dem ersten Punkt des Zeichens „der Widder“ begriffene Bogen des Aequators. Die Rectascensionen rechnet man in der von der Sonne genommenen Richtung ihrer Bewegung von 0° bis 360° (Art. 21).

Reflexion (des Lichtes), ein optisches Phäno-

durch welches ein Lichtstrahl zurückgestoßen wird, sobald er auf eine polirte undurchsichtige Fläche fällt (Art 13). Reflexionsinstrumente sind auf diese Eigenthümlichkeit des Lichts gegründet, und dienen zur See, die Distanzen und Höhen der Gestirne zu messen.

Refraktion, Abweichung der Lichtstrahlen, wenn sie zwei Medien von ungleicher Dicke durchkreuzen (Art. 13). Astronomische Refraktion, Abbiegung des Sternenlichts, wenn es die Erdatmosphäre durchkreuzt (Art. 145).

Rotation des Planeten ist die Zeit, während welcher er sich in seiner täglichen Bewegung ganz um seine Axe dreht, so die Erde in 23 St. 56′ 4″ mittlere Zeit.

Satelliten, sekundäre Planeten, welche um ihren Hauptplaneten, wie die Planeten um die Sonne sich drehen. Diese sind: der Mond oder Trabant der Erde, die Satelliten oder Trabanten des Jupiter (Art. 90), die des Saturn (Art. 97), die des Uranus (Art. 103).

Saturn galt bei den Alten für den der Sonne entferntesten Planeten (Art. 95), seine Monde (A t. 97), sein Ring (Art. 98), seine Ungleichheiten (Art. 190).

Saturnsring, ein fester, dunkler, sehr dünner Körper, der ziemlich in der Ebene des Saturnsäquators situirt ist, und welcher ihn wie ein Gürtel umgibt. Dieses Phänomen ist das einzige seiner Art im Planetensystem (Art. 98, 99, 100).

Scheibe, die sichtbare Fläche eines Gestirns.

Schiefe der Ekliptik ist der Winkel, unter welchem die Bahn der Ekliptik gegen den Aequator geneigt ist.

Schwanken des Mondes, durch dasselbe zeigt und entzieht er uns wechselweise einige Theile seiner an den Rändern gelegenen Fläche (Art. 60 und 240).

Schwerpunkt, durch diesen geht die Resultante aller auf einen Körper oder ein System von Körpern angewandten Kräfte (Art. 174).

Sextant, ein zur See gebrauchtes Reflexionsinstrument, von gleicher Construktion wie der Oktant und unter=

scheidet sich von diesem nur dadurch, daß der Sektor, welcher es trägt, 60° anstatt 45° ist (Art. 136).

Siderisches Jahr, die Zwischenzeit, in welcher die Sonne zu einem und demselben Sterne wieder zurückkehrt. Ein solcher Zwischenraum ist um 20′ 22″ länger als das tropische Jahr (Art. 40).

Sinus, trigonometrische Linie, welche zum Messen der Winkel dient. Es ist die perpendikuläre, von der Extremität eines Bogens zu dem Radius herabgezogen, welcher durch die entgegengesetzte Extremität geht. Der Sinus eines Bogens ist folglich die Hälfte der Sehne, welche einen doppelten Bogen soustendirt.

Solstiz d. i. Stillstand der Sonne tritt ein, wenn die Sonne auf ihrem Jahreslaufe den höchsten oder niedrigsten Standpunkt einnimmt, also am längsten und kürzesten Tage. Solstitialpunkte heißen die beiden Punkte der Ekliptik, bei welchen die Sonne in den Solstitien ankommt (Art. 31).

Sonne, um diese bewegen sich alle Planeten, ihre scheinbare Bewegung (Art 29), physische Beschaffenheit, Umdrehung, Flecken (Art. 44).

Sonnencyclus eine 28jährige Periode, nach deren Ablauf die Tage des Monats auf dieselben Tage der Woche fallen (Art. 165).

Sonnenmonat aus 30 T. 10 St. 26″ (Art. 162).

Sonntagsbuchstaben im immerwährenden Kalender (Art. 164).

Sothperiode s. Art. 159.

Sphäroid, ein fester Körper, der von der Kugelgestalt nur wenig abweicht.

Störungen s. Perturbationen.

Stationär heißt der Zustand eines Planeten zur Zeit seines scheinbaren Stillstandes, nach welchem er wieder rechtläufig oder rückläufig wird (Art. 76).

Stundenwinkel (eines Gestirns), das ist der am Pol durch den Meridian des Ortes und den durch dieses Gestirn gehenden Deklinationskreis gebildete Winkel; oder was

dasselbe sagt, es ist die Distanz des auf dem Aequator gemessenen Gestirns vom Meridian.

Synodisch heißt die Bewegung, welche ein Gestirn in Conjunktion mit der Sonne bringt.

System, ein Ensemble mehrer Sterne, die denselben Einflüssen ausgesetzt sein sollen. Systeme nennt man ferner die Hypothesen, welche die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper erklären sollen (Art 68 u. 79).

Syzygien heißen die Conjunktionen und Oppositionen der Sonne und des Mondes (Art. 49).

Tag, Eintheilung der Zeit, **wirklicher T.** ist das Intervall zwischen zwei successiven Wiederkünften der Sonne zum Meridian; **mittlerer T.** dieser würde durch zwei successive Wiederkünfte zum Meridian bezeichnet werden, wenn er gleichförmig in der Ebene des Aequators sich bewegt; **siderischer T.** ist das Intervall zwischen den successiven Wiederkünften desselben Sterns zum Meridian. Der siderische Tag ist um 3′ 55″,9 (mittlere Zeit) kürzer als der mittlere Sonnentag (Art. 40).

Tägliche Bewegung eines Sterns ist die Zahl der Grade, Minuten und Sekunden, welche er während der Dauer eines Tages zu beschreiben scheint. Die t. B. der Erde ist ihre tägliche Umdrehung um ihre eigene Axe.

Tangente eines Bogens ist in der Trigonometrie die senkrechte Linie, welche an dem Ende eines Bogens zu dem Radius hinaufgezogen wird, welcher durch diesen Punkt geht.

Teleskopische Planeten heißen die in diesem Jahrhundert entdeckten kleinern, die wegen ihrer Kleinheit nur mit dem Teleskop bemerkt werden.

Tropische oder **Wendekreise** sind die zwei Parallelkreise des Aequators, die zu beiden Seiten desselben um 23° 28′ von ihm abstehen. Der obere oder nördliche heißt: Wendekreis des Krebses, der untere oder südliche: Wendekreis des Steinbocks (Art. 31).

Tropisches Jahr, die Zwischenzeit, in welcher die Sonne von einem Solstitium oder Aequinoktium zu dem=

selben ihre jährliche Wanderung macht. Nach dieser richtet sich das Zeitmaß eines bürgerlichen Jahres (Art. 31).

Umlaufszeit eines Planeten ist die Zeit, während welcher er seinen ganzen Umlauf um irgend einen Punkt vollendet, also volle 360° in Beziehung auf diesen Punkt zurücklegt.

Ungleichheiten nennt man die Unregelmäßigkeiten, welche die Bewegungen der Sonne, des Mondes, der Planeten von den Gesetzen der elliptischen Bewegung entfernen (Art. 51, 114 und 185).

Uranus, entferntester Planet (Art. 102).

Venus bietet Phasen wie der Mond (Art. 82)

Vertikalkreis, Scheitelkreis, auch Höhenkreis genannt, ist derjenige größte Kreis, der durch den Stern senkrecht auf den Horizont des Beobachters, also auch durch den Zenith desselben geht. Der Bogen des zwischen dem Stern und dem Horizont enthaltenen Kreises heißt: Höhe des Sterns.

Vesta, teleskopischer Planet (Art. 104).

Weltaxe heißt die gerade Linie, um welche sich die Himmelskugel täglich zu drehen scheint. Die Weltaxe ist eigentlich die Erdaxe, bis zu ihrer Vereinigung mit dem Himmel sich fortziehend (Art. 2).

Zenith, der Punkt des Himmels, der senkrecht über dem Beobachter steht, der höchste Punkt des Himmels in Beziehung auf den Horizont.

Zodiak s. Art. 11. Zodiakallicht s. Licht.

Zone s. Art. 34.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Nachträgliches.

Im Widerspruch mit der Sternkarte findet sich im Texte an mehren Stellen des ersten Theils dieses Werkes das Gestirn der „Bär“ als die „Bärin“ aufgeführt. Dieser Verstoß gegen die Consequenz könnte leicht auch als einer gegegen die Wissenschaft gedeutet werden, da dieses Gestirn, obzwar im Griechischen, Lateinischen, Französischen ꝛc. weiblichen Geschlechts, von den deutschen Astronomen allgemein als männlichen Geschlechts bezeichnet wird. Der Ubersetzer beruft sich deßhalb in Betreff einzelner Ausnahmen, des beschränkten Raumes wegen, hier nur auf J. H. Voß in seinen Uebersetzungen des Homer (Iliade 18, 487):

„Auch die Bärin, die sonst der Himmelswagen genannt wird“

und Virgil (Aen. 1, 744):

„Auch den Arctur und die feuchte Hyad' und die doppelte Bärin.“

Inhalt.

Seite

Sechstes Kapitel. Ungleichheiten in der Bewegung der Satelliten des Jupiter, Saturn und Uranus. — Bemerkenswerther Zusammenhang in den mittlern Bewegungen der drei ersten Jupitermonde. — Verwandtschaftliches zwischen den mittlern siderischen und synodischen Längen. — Diese drei Satelliten verfinstern sich niemals gleichzeitig. — Massen der Jupitermonde. — Abplattung des Planeten. — Satelliten und Ring des Saturn. — Satelliten des Uranus 3

Siebentes Kapitel. Störungen der elliptischen Bewegung der Kometen. — Wie die Veränderungen eines jeden Elementes der elliptischen Bahn eines Kometen, welcher durch die Attraktion des Planeten, an welchem er vorbeistreift, gestört worden ist, sich berechnen lassen. — Vorausbestimmung seiner Wiederkunftsperioden. — Anwendung an den periodischen Kometen von 1759, 1819 und 1826. — Merkwürdiges Verschwinden des Kometen von 1769 durch Einwirkung der Planeten. — Betrachtungen über die Massen der Kometen 9

Achtes Kapitel. Von der Gestalt der Himmelskörper. — Die Gestalt, welche dem Gleichgewicht einer mit einer drehenden Bewegung begabten flüssigen Masse zukommt. — Ein Fall, wo das Fluidum homogen ist. — Ein Fall, wo es aus homogenen Schichten zusammengesetzt ist, deren Dichtheiten, von der Oberfläche bis zum Mittelpunkt sich verändern. — Die elliptische Gestalt genügt in beiden Fällen den Bedingungen des Gleichgewichts. — Veränderungen der Schwere auf der Oberfläche des Sphäroids. — Consequenzen, welche hieraus, bezüglich zur Erde, resultiren. — Anwendung der vorhergehenden Theorie auf den Jupiter 19

Neuntes Kapitel. Figur der Erde. — Methode, sie durch Messung der Grade des Meridians zu bestimmen. — Ungleichheiten der Grade, die unter verschiedenen Breiten gemessen wurden. — Die zunehmende Größe der Grade vom Aequator zum Pol zeigt die Abplattung der Erde in der Gegend der Polaraxe. — Bestimmung dieser Abplattung 1) durch Messung der Grade des Meridians, 2) durch die Veränderungen der Länge des Pendels. — Vom Maße und dem neuen System der Gewichte und Maße. — Physische Constitution der Erde, thermometrischer Zustand, Formation der Gebirge &c. . . . 34

Zehntes Kapitel. Präcession der Nachtgleichen und Schwanken der Erdaxe. — Ursache der Präcession. — Ursache des Schwankens. — Veränderung der Schiefe der Ekliptik. — Länge des tropischen Jahres. — Masse des Mondes. — Abplattung der Erde. — Unveränderlichkeit der Drehungsgeschwindigkeit der Erde und der Pole an ihrer Oberfläche. — Unveränderlichkeit des mittlern Sonnentages 59

Elftes Kapitel. Schwankung des Mondes. — Optisches Schwanken. — Wirkliche Schwankung, durch die Attraktion der Erde veranlaßt. — Sie ist unmerklich. — Daraus folgt, daß wir nie die uns entgegengesetzte Hemisphäre des Mondes sehen. — Zusammentreffen der Knoten des Aequators und der Mondbahn. — Schlußfolgen, welche aus der Theorie des Mondes, in Bezug zu seiner Gestalt hergeleitet werden 7

Zwölftes Kapitel. Ebbe und Flut. — Die vornehmsten Umstände, welche diese Erscheinung hervorbringen. — Die Einwirkung der Sonne und des Mondes auf die Gewässer des Oceans verursacht Ebbe und Flut. — Die Höhe der Flut wechselt gemäß der respektiven Position beider Gestirne. — Verhältniß der Einwirkung der Sonne zu jener des Mondes, daraus schließt man auf die Masse dieses Gestirns. — Die Höhenstände der Flut vermindern sich in demselben Verhältnisse wie die Deklinationen der Gestirne, die sie hervorbringen, zunehmen. — Tägliche Verspätung der Flut. — Einrichtung des Hafens. — Regel, um in jedem Hafen die Stunde berechnen zu können, wo die Flut eintreten muß. — Einfluß lokaler Umstände auf Ebbe und Flut. — Atmosphärische Ebbe und Flut 78

Dreizehntes Kapitel. Von den eigenen Bewegungen der Sterne. — Transferirende Bewegung des Sonnensystems. — Bewegungen, die man an Doppeltermen beobachtete. — Einfluß der Sterne auf das Planetensystem 95

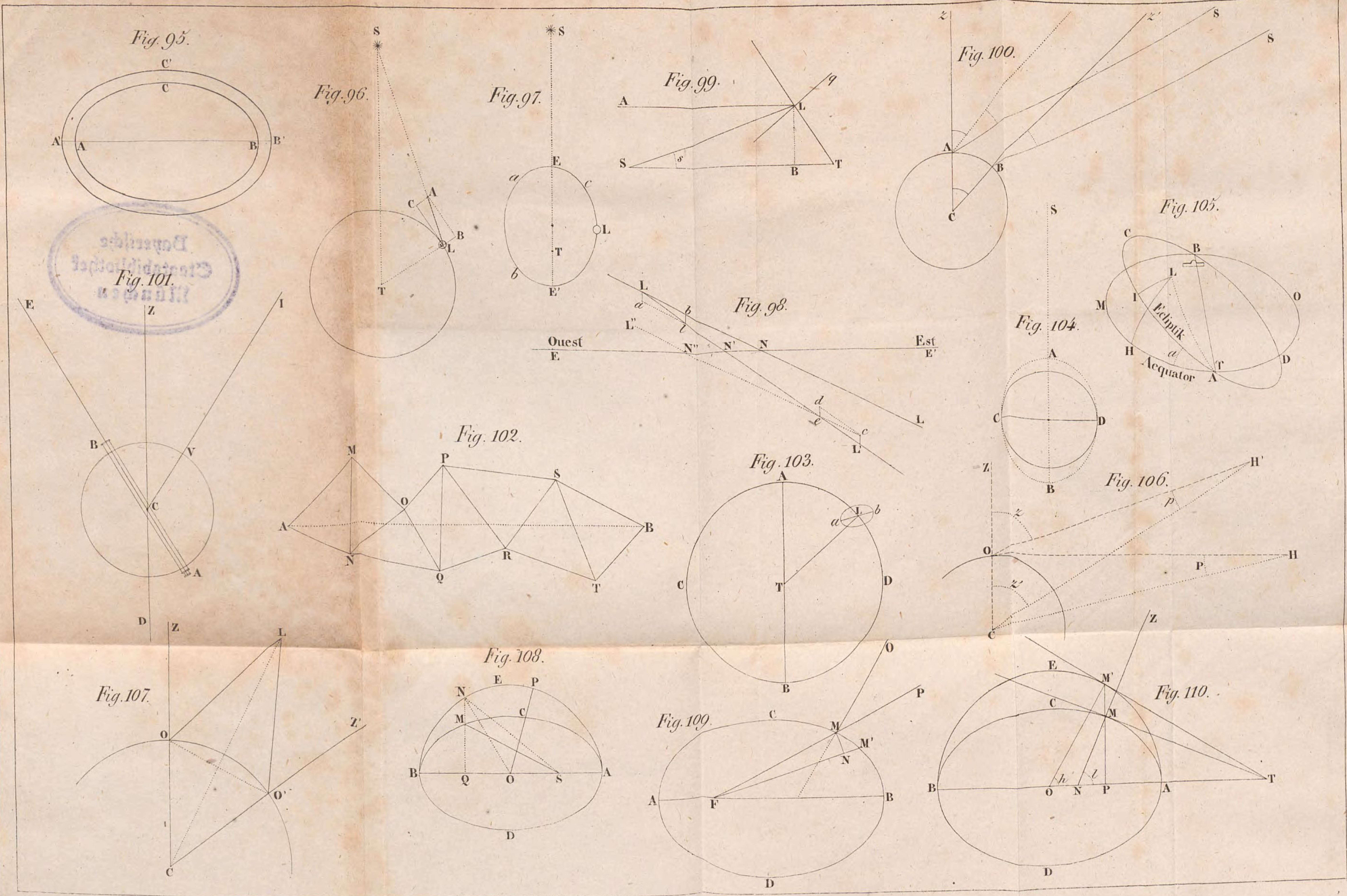
Vierzehntes und letztes Kapitel. Vermuthungen über die Bildung der Sonne und der Planeten. — Allgemeine Schlüsse aus dem Gravitationsgesetz. — Buffons Hypothese. — Herschel über Nebelflecken. — Hypothese des Laplace. — Bildung der Planeten und Satelliten. — Bestimmung der Kometen. — Allgemeine Betrachtungen. — Schluß 98

Anmerkungen 114

Zusätze 157

Register 163

TAF. VI.



Bayerische Staatsbibliothek München

Bayerische
Staatsbibliothek
München

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Doulcet de Pontécoulant, Philippe Gustave <<Le>>,

Populäre Astronomie für Alle, welche ohne mathematische Vorkenntniß über die Einrichtung des Weltgebäudes theoretisch und praktisch vollkommen belehrt sein wollen
Bd.: 4

Stuttgart (1846)

Astr.u. 307 x-1/4
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10061220-4